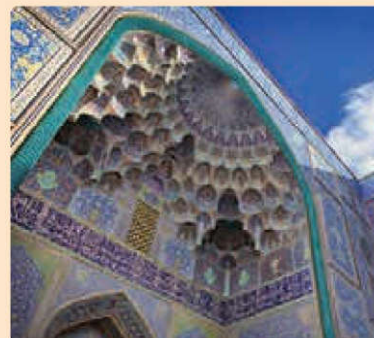


فهرست

فصل ۱: فیزیک و اندازه‌گیری

۱

- ۱-۱ فیزیک : دانش بنیادی ۲
- ۲-۱ مدل‌سازی در فیزیک ۵
- ۳-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی ۶
- ۴-۱ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها ۷
- ۵-۱ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری ۱۴
- ۶-۱ چگالی ۱۶
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ ۱۹



فصل ۲: ویژگی‌های فیزیکی مواد

۲۳

- ۱-۲ حالت‌های ماده ۲۴
- ۲-۲ نیروهای بین‌مولکولی ۲۸
- ۳-۲ فشار در شاره‌ها ۳۲
- ۴-۲ شناوری ۴۰
- ۵-۲ شاره در حرکت و اصل برنولی ۴۳
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ ۴۸



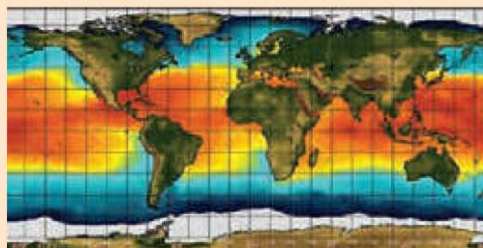
فصل ۳: کار، انرژی و توان

۵۳

- 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 پایداری انرژی مکانیکی ۶۸
- ۶-۳ کار و انرژی درونی ۷۱
- ۷-۳ توان ۷۳
- پرسش‌ها و مسئله‌های 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

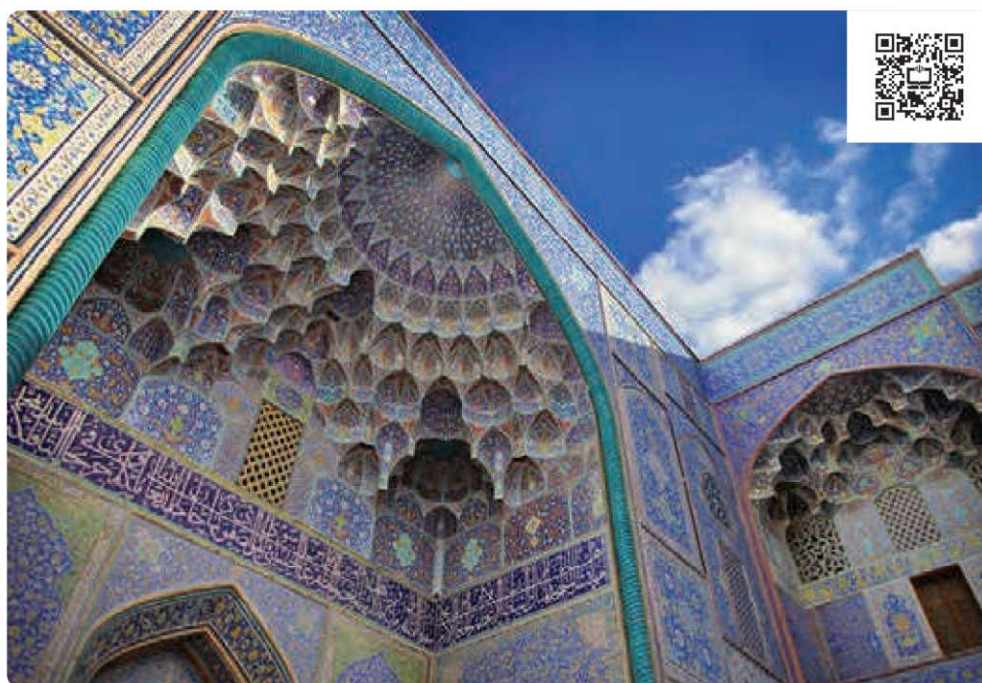


- ۱-۵ معادلهٔ حالت و فرایندهای ترمودینامیکی ایستوار ۱۲۸
- ۲-۵ تبادل انرژی ۱۲۹
- ۳-۵ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک ۱۳۰
- ۴-۵ برخی از فرایندهای ترمودینامیکی ۱۳۱
- ۵-۵ چرخهٔ ترمودینامیکی ۱۳۹
- ۶-۵ ماشین‌های گرمایی ۱۴۰
- ۷-۵ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی) ۱۴۶
- ۸-۵ قانون دوم ترمودینامیک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



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.

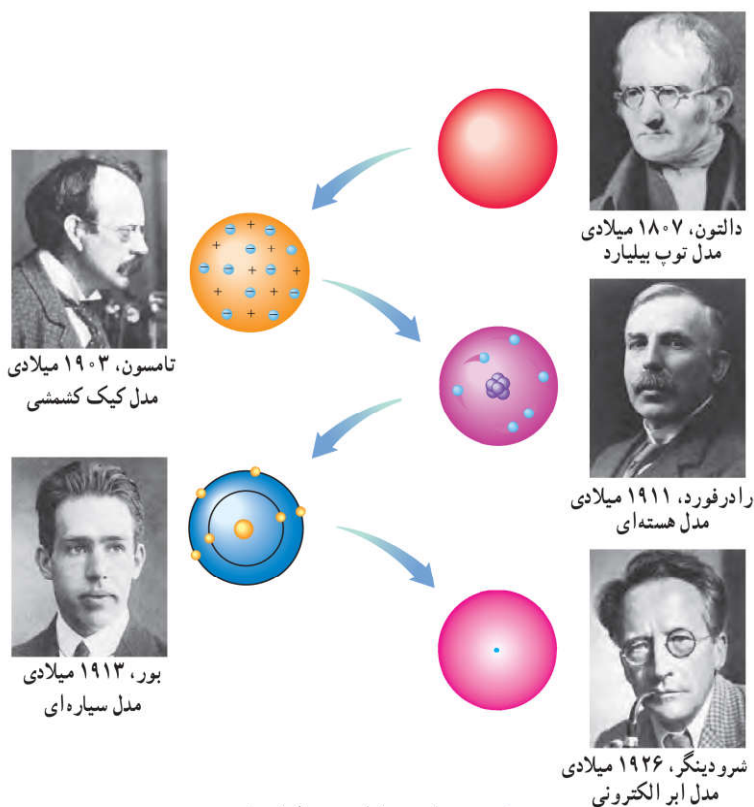
۱-۱ فیزیک: دانش بنیادی

مطالعه و یادگیری فیزیک به این دلیل اهمیت دارد که فیزیک از بنیادی‌ترین دانش‌ها و شالودهٔ تمامی 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 نظریهٔ 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، نظریهٔ اتمی با توجه به مشاهدات 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.



شکل ۱-۱ تغییر مدل اتمی در طول زمان

ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطهٔ 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 انجام شده 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)



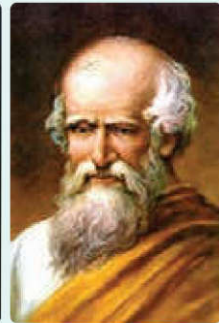
ابوعلی سینا
(۱۰۳۷-۹۸۰ م)



ابوریحان بیرونی
(۱۰۴۸-۹۷۳ م)



ابن هیشم
(۱۰۴۰-۹۶۵ م)



ارشمیدس
(۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد)



برج کج پیزا واقع در فلورانس ایتالیا



گالیلئو 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 فضاییمای 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.

(- تمامی مطالب «خوب است بدانید» در تمامی فصل‌های کتاب، جزء ارزشیابی نیستند)



(پ)



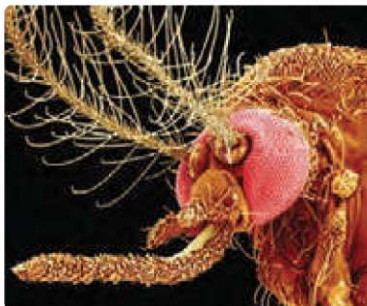
(ب)



(الف)



(ج)



(ث)



(ت)

شکل ۱-۲ (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) شتاب‌دهنده 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 تاکنون، کشف ذرهٔ 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 براساس نظریه نسبیت اینشتین کار می‌کند. (ت) ترابری مگ‌لو (maglev)، یکی از دستاوردهای فیزیک اُتِرساناست. این وسیلهٔ تقلیه موسوم به قطار مغناطیسی حامل پیچه‌های ابرسانا 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.^۱

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، پرده نگار (پاورپوینت)، فیلم‌های کوتاه و ... تهیه و ارائه کنید.)

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

پدیده‌هایی 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 پیچیدگی‌هایی همراه است. به همین دلیل فیزیک‌دانان برای بررسی پدیده‌ها، از مدل سازی استفاده می‌کنند. **مدل سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیده فیزیکی، آن قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.**

مدل سازی حرکت توپ با طور کامل خوانده شود

برای شناخت بهتر فرایند مدل سازی در فیزیک، حرکت یک توپ پرتاب شده را بررسی می‌کنیم (شکل ۱-۳ 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 برجستگی‌هایی روی توپ وجود دارد) و در حین حرکت به دور خود می‌چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می‌گذارند. وزن توپ با تغییر فاصله آن از مرکز زمین تغییر می‌کند. 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، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها 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 نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف نظر می‌کنیم. سرانجام فرض می‌کنیم با تغییر فاصله توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می‌ماند (شکل ۱-۳ ب). اینک مسئله ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم 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 می‌گرفتیم، آن گاه مدل ما پیش بینی می‌کرد که وقتی تویی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

شخصی در حال هل دادن یک جسم نسبتاً بزرگ



نکته: در مدل سازی حرکت اجسام

همواره می‌توان از تغییرات نیروی

وزن (تغییرات شتاب جاذبه)

صرف نظر کرد. اما هیچگاه

نی‌توان از خود نیروی وزن

(شتاب جاذبه) چشم پوشی کرد!

نکته: در مدل سازی حرکت اجسام اگر

سطح جسی بزرگ باشد، مثل دره

کاغذ، برگ درخت و ... هیچگاه

نی‌توان از نیروی مقاومت هوا

صرف نظر کرد.

توپ بسکتبال به صورت یک جسم نقطه‌ای (ذره) در نظر گرفته می‌شود.

نیروی گرانشی وارد بر توپ ثابت است.

(ب) مدل آرمانی توپ بسکتبال

شکل ۱-۳ استفاده از یک مدل آرمانی برای ساده سازی تحلیل حرکت یک توپ بسکتبال در هوا

جزئیات این شکل‌ها مهم است، توجه فرمایید



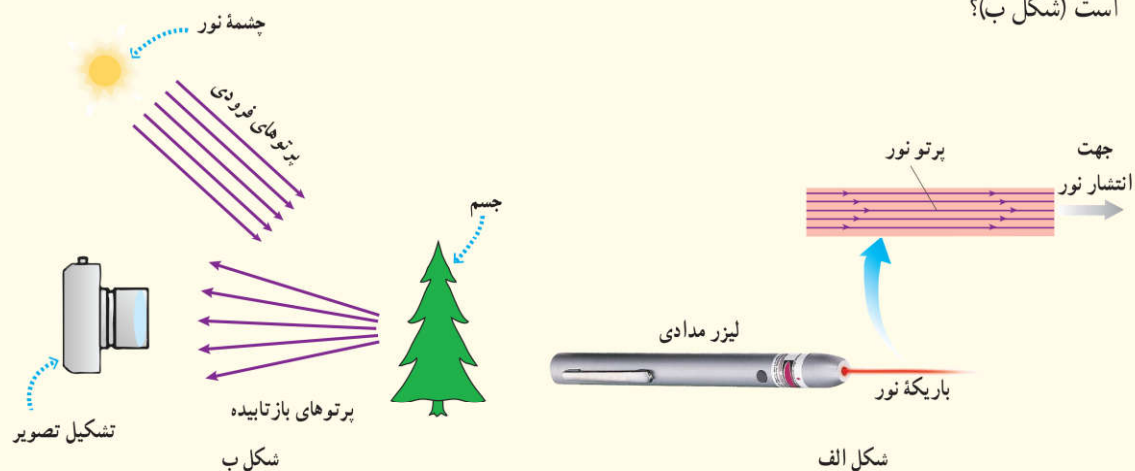
(الف) توپ بسکتبال در هوا

نکته: در سرعت‌ها بالا هیچگاه (حتی برای ابعاد کوچک مثل قطره باران) نمی‌توان از نیروی مقاومت هوا چشم پوشی کرد.

@mrgrazee
@mrphysic123

پرسش ۱-۱

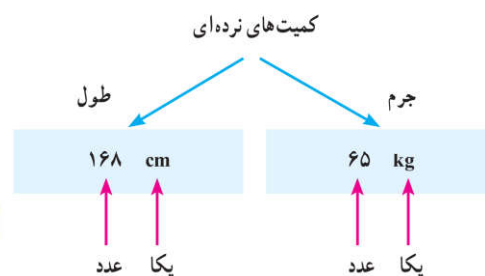
شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینه نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل‌سازی شده است. این مدل‌سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به کار رفته است (شکل ب)؟



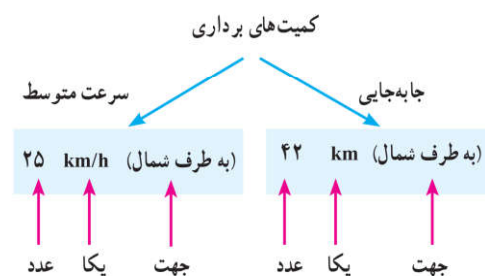
۳-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

همان‌طور که پیش از این گفتیم فیزیک علمی تجربی است و هدف آن بررسی پدیده‌های فیزیکی در جهان پیرامون است. اساس تجربه و آزمایش، اندازه‌گیری است و برای بیان نتایج اندازه‌گیری، به‌طور معمول از عدد و یکای مناسب آن استفاده می‌کنیم. در فیزیک به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، مانند طول، جرم، تندی، نیرو و زمان سقوط یک جسم، کمیت فیزیکی گفته می‌شود.

برای بیان برخی از کمیت‌های فیزیکی، تنها از یک عدد و یکای مناسب آن استفاده می‌شود. این گونه کمیت‌ها، **کمیت نرده‌ای** نامیده می‌شوند. برای مثال، وقتی می‌گوییم جرم و طول قد شخصی به ترتیب، ۶۵ kg و ۱۶۸ cm است، از دو کمیت فیزیکی نرده‌ای برای توصیف این شخص استفاده کرده‌ایم (شکل ۱-۴). برای بیان برخی دیگر از کمیت‌های فیزیکی، افزون بر یک عدد و یکای مناسب آن، لازم است به جهت آن نیز اشاره کنیم. این دسته از کمیت‌ها را، **کمیت برداری** می‌نامند. با برخی از این کمیت‌ها مانند جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می‌گوییم جابه‌جایی دو چرخه‌سواری 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 چرخه‌سوار استفاده کرده‌ایم (شکل ۱-۵). برای نوشتن کمیت‌های برداری، مانند نیرو $\vec{F}$ و شتاب $\vec{a}$ ، از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می‌کنیم. 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!

مهم ← سری جدول را باید حفظ باشد

فیزیک و اندازه گیری

۴-۱ اندازه گیری و دستگاه بین المللی یکاها

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^۱.

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**

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

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 ²)	m/s ²
نیرو	نیوتون (N)	kg.m/s ²
فشار	پاسکال (Pa)	kg/ms ²
انرژی	ژول (J)	kg.m ² /s ²

قرار داده اند، مثلاً یکای نیرو (kg.m/s²) 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.

خوب است بدانید

در اواسط قرن نوزدهم نیاز به یک دستگاه مقیاس جهانی کاملاً آشکار شد. در سال ۱۸۷۵ میلادی، همایشی بین المللی در پاریس در زمینه سنجش تشکیل شد و ۱۷ دولت قرارداد متر را امضا کردند. امضا کنندگان تصمیم گرفتند که یک مؤسسه علمی دائمی به نام دفتر بین المللی اوزان و مقیاس ها تأسیس کنند. ایران نیز کنوانسیون متر را در سال ۱۳۵۴ امضا کرد و به عضویت این دفتر درآمد. مرکز اندازه شناسی سازمان ملی استاندارد ایران به عنوان نقطه اتصال کشور به دستگاه اندازه گیری جهانی، وظیفه ارتباط با این سازمان جهانی را دارد.

۱- SI سر حرف عبارت فرانسوی (Système International) به معنای دستگاه بین المللی است.

دقت بفرمایید، یکای SI نیرو، نیوتون (N) می باشد. اگر از ما خواست شود یکای نیرو را بگوییم اصل بنویسیم، $\frac{kg \cdot m}{s^2}$ می شود. براس سابق کمیت ها مثل فشار، انرژی و... نیز اینگونه است.

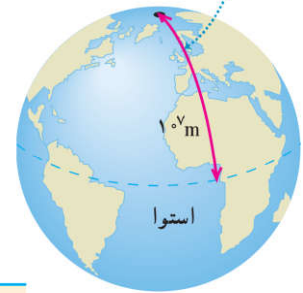
این جدول را فعلاً بین آزمون که در فصل اول هست حفظ کنید تا در نظر داشت باقیه به مرور در دوره دبیرستان با آن ها آشنایی بیشتری پیدا کنید و راه ها و بهتری هم وجود دارد. (نکته)

نیاز به حفظ کردن تعاریف طول، زمان و جرم نیست

فصل ۱

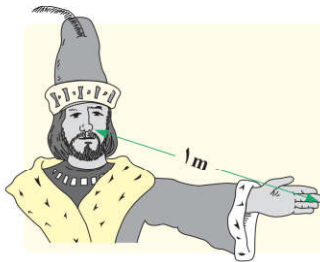
طول: به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به صورت یک ده میلیونیم فاصله استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱-۶). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله ای از جنس پلاتین - ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن ها و مقیاس ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه گیری های بسیار دقیق به کار می رود^۱. در جدول ۳-۱ مقادیر تقریبی برخی طول ها آمده است.

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



شکل ۱-۶ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

جدول ۳-۱ مقادیر تقریبی برخی طول های اندازه گیری شده		
طول (m)	طول (m)	طول (m)
9×10^1	طول زمین فوتبال	$2/8 \times 10^{21}$
5×10^{-3}	طول بدن نوعی مگس	4×10^{16}
1×10^{-4}	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک	9×10^{15}
1×10^{-5}	اندازه یاخته های بیشتر موجودات زنده	$1/5 \times 10^{11}$
$0/2 \times 10^{-6}$	اندازه بیشتر میکروب ها	$3/84 \times 10^8$
$1/06 \times 10^{-10}$	قطر اتم هیدروژن	$6/4 \times 10^6$
$1/75 \times 10^{-15}$	قطر هسته اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$3/6 \times 10^7$



اگر مطابق شکل روبه رو، یکای طول را به صورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟ **مزایا ← در دسترس بودن و استفاده آسان**

معایب ← رسیدن به نتایج با تفاوت زیاد و اعتبار کم

پرسش ۱-۲

تمرین ۱-۱

الف) یکای نجومی^۲ برابر میانگین فاصله زمین تا خورشید است ($1 \text{ AU} \approx 1/5 \times 10^{11} \text{ m}$). با توجه به جدول ۳-۱، فاصله منظومه شمسی تا نزدیک ترین ستاره، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟
ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ طی می نماید یک سال نوری می نامند و آن را با نماد ly نمایش می دهند^۳. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $3/0 \times 10^8$ متر بر ثانیه بگیرید.
پ) اخترش ها^۴ دورترین اجرام شناخته شده از منظومه شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهده کیهان قرار دارند. فاصله اخترش ها از منظومه شمسی $1/0 \times 10^{26}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

نیاز نیست حفظ کنید

۱- نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲- Quasars

۳- light year

۴- Astronomical Unit

از جنسی طول (m) بوده و براس این فاصله

برای تبدیل سال نوری به متر از رابطه قبل استفاده کنید.

زمان یک سال بر حسب ثانیه

تندی نور بر حسب m/s

مثال $1 \text{ ly} = 1 \times 10^{-4} \times (3 \times 10^8) = 3 \times 10^{14} \text{ m}$

دو نکته

۸

$m = (3 \times 10^8 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 10^{-4} = 3 \times 10^{14}$



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

جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود. تا پیش از بیست‌وششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، یک کیلوگرم به‌صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین – ایریدیوم تعریف شده بود. این استوانه به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته است و در موزه سیور فرانسه نگهداری می‌شود^۱. 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.

جدول ۴-۱ مقادیر تقریبی برخی جرم‌های اندازه‌گیری شده			
جرم (kg)		جرم (kg)	
عالم قابل مشاهده	1×10^{52}	انسان	7×10^1
کهکشان راه شیری	7×10^{41}	قورباغه	1×10^{-1}
خورشید	2×10^{30}	پشه	1×10^{-5}
زمین	6×10^{24}	باکتری	1×10^{-15}
ماه	$7/34 \times 10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67 \times 10^{-27}$
کوسه	1×10^3	الکترون	$9/11 \times 10^{-31}$

زمان: در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ ه.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به‌صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد^۲. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶ ه.ش به‌کار گرفته شد براساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید^۳.

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.

جدول ۵-۱ مقادیر تقریبی برخی از بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده	
ثانیه	
سن عالم	5×10^{17}
سن زمین	$1/43 \times 10^{17}$
میانگین عمر یک انسان	2×10^9
یک سال	$3/15 \times 10^7$
یک روز	$8/6 \times 10^4$
زمان بین دو ضربان عادی قلب	8×10^{-1}

فعالیت ۲-۱

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید^۴.

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 بیست‌وششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها که در آبان ۱۳۹۷ برگزار شد تعریف یکاهای کیلوگرم، آمپر، کلوین و مول تغییر کرد. براساس تعریف‌های جدید کیلوگرم براساس ثابت پلانک (h)، آمپر براساس بار بنیادی (e)، کلوین براساس ثابت بولتزمن (k) و مول براساس ثابت آووگادرو (N_A) باز تعریف شدند.

۲- یک روز خورشیدی، زمانی بین ظاهرشدن‌های 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 نیز داشته باشید.

خوب است بدانید

چندین هزار سال از توجه جوامع بشری به ضرورت اندازه‌گیری و کاربرد آن در زندگی روزمره می‌گذرد. ایجاد تقویم، تعیین زمان، اندازه‌گیری فاصله، مساحت، ساخت وزنه و پیمانه تنها نمونه‌ای از شواهدی هستند که نقش اندازه‌گیری را در زندگی انسان‌های دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. اولین قانون اندازه‌گیری در ایران، سال ۱۳۰۴ ه.ش به تصویب رسید. با تصویب این قانون دستگاه متریک به عنوان دستگاه رسمی اندازه‌گیری در کشور تعیین شد. اجرای قانون اندازه‌گیری در کشور به عهده مرکز اندازه‌شناسی سازمان ملی استاندارد ایران است. این مرکز شامل بخش‌هایی مربوط به اندازه‌گیری‌های مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی است.

تبدیل یکاها: اغلب در حل مسئله‌های فیزیک، لازم است یکای کمیتی را تغییر دهیم. برای مثال، ممکن است لازم باشد کیلوگرم (kg) را به میکروگرم (μg)، 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 به عنوان ضریب تبدیل به کار 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، به صورت 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 به صورت زیر انجام می‌دهیم:

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

می‌دهیم:

دقت فرمایید

★ در تبدیل یکاها، روشی جایگزین

یک از مناسب‌ترین روش‌ها است، اما به دلیل استحضات نهایی و براساس روشی که ب، مسائل را فقط با روش کسر تبدیل

تمرین ۱-۲

واحد (ذخیره‌ای)
حل کنید.



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 cm^3 است).

خوات سوال: $125 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = ? \frac{\text{L}}{\text{min}}$

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

$$kg = ? \text{ کُندم} \quad 1 \text{ سیر} = ? \text{ kg} \quad \text{سؤال: حواشی}$$

$$1 \text{ سیر} \times \frac{440 \text{ مثقال}}{1 \text{ سیر}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = \dots \text{ kg}$$

فعالیت ۳-۱

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

$$1 \text{ خروار} = 1000 \text{ من تبریز} = \dots \text{ kg}$$

$$1 \text{ من تبریز} = 40 \text{ سیر} = 640 \text{ مثقال}$$

$$1 \text{ مثقال} = 24 \text{ نخود} = 96 \text{ گندم}$$

با توجه به اینکه هر مثقال اندکی بیش از 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 اندازه‌ی 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 اندازه‌ی 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 325 g و شتاب آن $1/75 \text{ m/s}^2$ 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.

$$F = ma = (0.325 \text{ kg})(1/75 \text{ m/s}^2) = 0.0043 \text{ N}$$

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 10 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 ($1 \mu\text{m}$) که به آن میکرون نیز می‌گویند برابر $1 \times 10^{-6} \text{ m}$ است یا سه مگاوات (3 MW) برابر $3 \times 10^6 \text{ W}$ است.

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

* در این جدول نقطه پیوندهایی که قرمز شده اند را حفظ کنید.

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقادیرهای

خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار 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 مقادیرهای 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 برگرنده 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 ۷-۱ توجه کنید.

جدول ۶-۱ پیشوندهای یکاها					
ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زتا	Z	10^{-21}	زپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	آتو	a
10^{15}	پتا	P	10^{-15}	فمتو	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	μ
10^3	کیلو	k	10^{-3}	میلی	m
10^2	هکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^1	دکا	da	10^{-1}	دسی	d

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

جدول ۷-۱ بیان اندازه چند کمیت به صورت نمادگذاری علمی		
نمونه	اندازه کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۳۹۴	260000000000 L	$2/60 \times 10^{11} \text{ L}$
تندی نور در هوا	300000000 m/s	$3/00 \times 10^8 \text{ m/s}$
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	38900000 m	$3/89 \times 10^7 \text{ m}$
حجم یک بشکه نفت	159 L	$1/59 \times 10^2 \text{ L}$
قطر موی انسان	$0/00000801 \text{ m}$	$8/01 \times 10^{-6} \text{ m}$
قطر اتم هیدروژن	$0/00000000106 \text{ m}$	$1/06 \times 10^{-10} \text{ m}$

سرگرمی نماد علمی

$$\boxed{} / \boxed{} \times 10^n$$

↓ ↓
یکای رقم مابقی رقم $n \in \mathbb{Z}$

$$25480 \text{ kg} = 2/5480 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$0/97 \text{ s} = 9/7 \times 10^{-2} \text{ s}$$

$$5 \text{ m} = 5/0 \times 10^0 \text{ m}$$

البه مثل آخر، مثل جابن
نیت، ولی حالا! ☺

مثال ۱-۱

مقدار بار الکتریکی الکترون $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است. مقدار این بار را بر حسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.

پاسخ: با توجه به جدول ۱-۶، پیشوند میکرو (μ) برابر 10^{-6} است. به این ترتیب داریم:

$$1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ C} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ C}$$

پرسش ۱-۳

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل (15 kg) را به صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟

☐ $15 \times 10^{-5} \text{ kg}$

☐ $1.5 \times 10^{-5} \text{ kg}$

☒ $1.5 \times 10^{-4} \text{ kg}$

☐ $1.5 \times 10^{-3} \text{ kg}$

تمرین ۱-۳

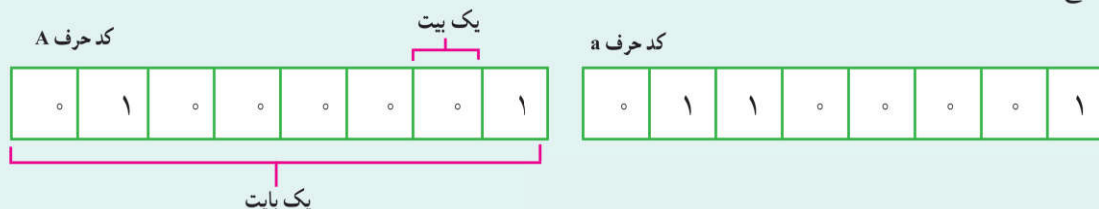
با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

	قطر میانگین یک گویچه (گلبول) قرمز	$7 \times 10^{-6} \text{ m}$	mm	 μm
	قطر هسته اتم اورانیوم	$1.17 \times 10^{-14} \text{ m}$	pm	fm
	جرم یک گیره کاغذ	$1 \times 10^{-4} \text{ kg}$	g	mg
	زمانی که نور مسافت 3 m را در هوا طی می‌کند.	$1 \times 10^{-9} \text{ s}$	 μs	ns
	زمانی که صوت مسافت 35 m را در هوا طی می‌کند.	$1 \times 10^{-2} \text{ s}$	ms	 μs

خوب است بدانید

یکای پایه یا بنیادی اطلاعات در رایانه و ارتباطات، بیت (bit) است. هر بیت تنها با دو مقدار ۰ و ۱ تعریف می‌شود. این دو مقدار می‌توانند به صورت مقدارهای منطقی (درست/ نادرست، آری/ نه)، علائم جبری (+/-) یا حالت‌های راه‌اندازی (روشن/ خاموش) تفسیر شوند.

به دسته‌های ۸ تایی از بیت‌ها، بایت می‌گویند ($1 \text{ B} = 8 \text{ b}$). یک بایت می‌تواند نشان‌دهنده یک کاراکتر (یک حرف، یک عدد صحیح بین ۰ تا ۹، یا یک علامت نشانه‌گذاری و غیره) باشد. برای مثال، کد حرف A و a به صورت‌های زیر است:



$2^{10} \text{ b} = 1024 \text{ b} = 1 \text{ kb}$	کیلو بیت
$2^{20} \text{ b} = 1024 \text{ kb} = 1 \text{ Mb}$	مگا بیت
$2^{30} \text{ b} = 1024 \text{ Mb} = 1 \text{ Gb}$	گیگا بیت
$2^{40} \text{ b} = 1024 \text{ Gb} = 1 \text{ Tb}$	ترا بیت
$2^{50} \text{ b} = 1024 \text{ Tb} = 1 \text{ Pb}$	پتا بیت
$2^{60} \text{ b} = 1024 \text{ Pb} = 1 \text{ Eb}$	اگزا بیت
$2^{70} \text{ b} = 1024 \text{ Eb} = 1 \text{ Zb}$	زتا بیت
$2^{80} \text{ b} = 1024 \text{ Zb} = 1 \text{ Yb}$	یوتا بیت

با کمی دقت متوجه می‌شویم که هر بایت می‌تواند ۲۵۶ ترکیب ۸ تایی از صفرها و یک‌ها بسازد که هر کدام نماینده یک نویسه (کاراکتر) هستند.

پیشوندهای بزرگ‌تر یکای بنیادی اطلاعات به صورت کیلو بیت (kb)، مگا بیت (Mb)، گیگا بیت (Gb)، ترا بیت (Tb) و غیره است. برخلاف پیشوندهای یکای SI که در آن هر کیلو برابر 10^3 است در مبنای دوتایی هر کیلو برابر $2^{10} = 1024$ است (جدول روبه‌رو را ببینید).

توجه داشته باشید که ظرفیت ذخیره داده و اطلاعات در حافظه‌های SD، DVD، USB و ... را برحسب پیشوندهایی از بایت (B) اعلام می‌کنند.

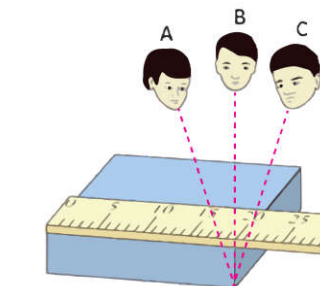


۵-۱ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

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

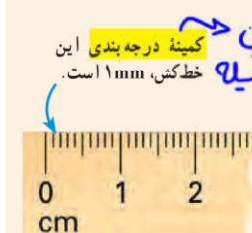
۱- دقت وسیله اندازه‌گیری: یکی از عوامل مهم در دقت اندازه‌گیری، دقت و حساسیت وسیله اندازه‌گیری است. برای مثال، دقت خط‌کشی که تا میلی‌متر مدرج شده، بیشتر از دقت خط‌کشی است که تا سانتی‌متر درجه‌بندی شده است.

۲- مهارت شخص آزمایشگر: یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار روی دقت اندازه‌گیری، مهارت‌های شخص آزمایشگر است. یکی از این مهارت‌ها، نحوه خواندن نتیجه اندازه‌گیری است. شکل ۸-۱ تأثیر اختلاف منظر در خواندن نتیجه اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. خواندن نتیجه اندازه‌گیری از منظرهای A و C خطا را افزایش می‌دهد در حالی که گزارش شخصی که از منظر B نتیجه اندازه‌گیری را می‌خواند دقت بیشتری دارد.



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

دقت ابزارهای اندازه‌گیری مدرج، برابر کمینه درجه‌بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط‌کشی که کمینه درجه‌بندی آن مطابق شکل زیر تا میلی‌متر است برابر ۱mm است.



دقت این خط‌کشی ۱mm است.

نکته مهم: اگر دقت یک وسیله مدرج یا دیجیتال (رقم) بر حسب یکای غیر از یکای آن وسیله خوانده شود، ابتدا دقت را بر حسب یکای وسیله به دست آوریم و بعد تبدیل واحد می‌کنیم.

ترازی، رقمی $\Rightarrow 5,700 \text{ g}$ دقت = ۰.۰۱ g

۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری: برای کاهش خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن را چند بار تکرار می‌کنند. میانگین عددهای حاصل از اندازه‌گیری به عنوان 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).

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°C و دقت آن 0.1°C است.



اندازه واقعی کمیت مورد نظر اینجاست. کمیتی که اندازه‌گیری می‌شود این نتیجه را در میانگین‌گیری در نظر نمی‌گیریم.

شکل ۹-۱: نتایج اندازه‌گیری شده حول اندازه واقعی. هر نشانه قرمز رنگ، نشان دهنده نتیجه یک اندازه‌گیری است.

الف) جرم: با یک قطره چکان، تعداد مشخص قطره را درون کفه یک ترازو ریخته، سپس عدد بدست آمده را بر تعداد تقسیم کرده تا جرم یک قطره بدست آید.

فعالیت ۲-۱

صحنه: با قطره چکان، تعداد مشخص قطره را در یک استوانه مدرج در زیر یک ناحیه مشخص بالا آید، حجم معلوم را بر تعداد قطره‌ها تقسیم کنید تا جرم یک قطره بدست آید.

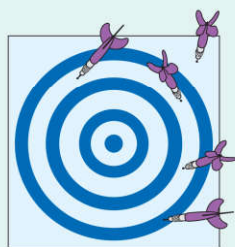
الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.

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

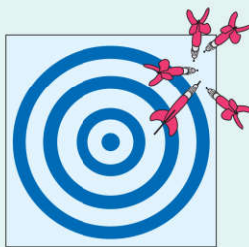
ب) سیم را دور یک خط‌کش بپیچید، تا یک طول مشخص (مثلاً 1cm) حاصل شود، سپس این طول معلوم را بر تعداد حلقه‌ها تقسیم کنید تا قطر سیم محاسب شود.

خوب است بدانید

تفاوت دقت و درستی: دقت همواره به معنای صحت و درستی نیست. برای مثال، یک ساعت رقمی معمولی که $17:35:10$ را نشان می‌دهد بسیار دقیق است (زمان را تا ثانیه اعلام می‌کند)، ولی اگر این ساعت چند دقیقه آهسته کار کند، دیگر مقداری که نشان می‌دهد درست نیست. از سوی دیگر، یک ساعت قدیمی دیواری ممکن است زمان صحیح را نشان دهد، ولی اگر این ساعت عقربه ثانیه‌شمار نداشته باشد دقت آن کم است. اندازه‌گیری‌های با کیفیت بالا نظیر اندازه‌گیری‌هایی که برای تعریف استانداردها صورت گرفته‌اند هم دقیق و هم درست‌اند. برای درک بهتر تفاوت دقت و درستی، به مثالی از بازی پرتاب دارت توجه کنید. در شکل (الف)، دقت و درستی، در شکل (ب) تنها دقت و در شکل (پ) نه دقت و نه درستی وجود دارد.



(ب)



(ب)



(الف)

محاسبه‌های جبری با رقم‌های بامعنا

رقم‌هایی را که بعد از اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی ثبت می‌کنید رقم‌های بامعنا می‌گویند. هنگامی که عددها در هم ضرب یا بر هم تقسیم می‌شوند تعداد رقم‌های بامعنا در نتیجه محاسبه نمی‌تواند بیشتر از تعداد رقم‌های بامعنا عددی باشد که کمترین رقم بامعنا را دارد؛ مثلاً حاصل عبارت $3/1415 \times 2/923 \times 7/12$ هر چند برابر $65/38014404$ می‌شود، ولی باید با سه رقم بامعنا، یعنی $65/4$ بیان شود. در جمع یا تفریق عددها آنچه اهمیت دارد محل ممیز است و نه تعداد رقم‌های بامعنا. برای نمونه، حاصل عبارت $245/41 + 4/8$ باید به صورت $250/2$ بیان شود. اگر نتیجه به صورت $250/21$ بیان شود نادرست است. همچنین حاصل عبارت $21/4356 - 41/342 + 12/0$ باید به صورت $31/9$ بیان شود.

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

مثال	قاعده
تمام عددهای غیر صفر بامعنا هستند.	۷۸۸/۶ چهار رقم بامعنا دارد.
تمام صفرهایی که بین اعداد غیر صفر قرار دارند بامعنا هستند.	۴۰۸ سه رقم بامعنا دارد.
صفرهایی که در طرف چپ اعداد قرار دارند، بامعنا نیستند.	۰۰۰۹۰۷ سه رقم بامعنا دارد.

صفرهایی که در طرف راست اعداد قرار دارند می‌توانند بامعنا باشند یا نباشند؛ برای مثال، اگر طول میله‌ای 230 mm گزارش شده باشد، تعداد رقم‌های بامعنا ممکن است دو یا سه رقم باشد. اگر نتیجه اندازه‌گیری با نمادگذاری علمی، به صورت $230\text{ mm} = 2/3 \times 10^2\text{ mm}$ نوشته شود، دارای دو رقم بامعنا و اگر به صورت $230\text{ mm} = 2/30 \times 10^2\text{ mm}$ نوشته شود دارای سه رقم بامعنا است. در برخی از کتاب‌های درسی، برای سادگی، تمام صفرهای سمت راست اعداد را بامعنا فرض می‌کنند. در کتاب فیزیک (۱) نیز ما از این فرض استفاده کرده‌ایم. بنابراین وقتی طول میله‌ای 230 mm گزارش شده باشد، تعداد رقم‌های بامعنا در این گزارش را سه رقم می‌گیریم.

۶-۱ چگالی

چگالی هر ماده یکی از ویژگی‌های مهم آن به شمار می‌رود که کاربردهای گوناگونی دارد. برای مثال با توجه به دستورالعمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چگالی شیرخام تحویلی در کارخانه‌های شیر و لبنیات باید در دمای 15°C درجه سلسیوس بین 1029 تا 1032 کیلوگرم بر متر مکعب باشد.

در علوم سال هفتم دیدید که اگر ماده‌ای همگنی دارای جرم m و حجم V باشد، چگالی ρ آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

یکای چگالی در SI کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) است. در جدول ۸-۱ چگالی برخی مواد داده شده است.

جدول ۸-۱ چگالی برخی مواد متداول

ماده	$\rho (\text{kg/m}^3)$	ماده	$\rho (\text{kg/m}^3)$
یخ	$0/917 \times 10^3$	آب	$1/00 \times 10^3$
آلومینیم	$2/70 \times 10^3$	گلیسرین	$1/26 \times 10^3$
آهن	$7/86 \times 10^3$	اتیل الکل	$0/806 \times 10^3$
مس	$8/92 \times 10^3$	بنزن	$0/879 \times 10^3$
نقره	$10/5 \times 10^3$	جیوه	$13/6 \times 10^3$
سرب	$11/3 \times 10^3$	هوا	$1/29$
اورانیم	$19/1 \times 10^3$	هلیوم	$1/79 \times 10^{-1}$
طلا	$19/3 \times 10^3$	اکسیژن	$1/43$
پلاتین	$21/4 \times 10^3$	هیدروژن	$8/99 \times 10^{-2}$

داده‌های این جدول در دمای صفر درجه (0°C) سلسیوس و فشار یک اتمسفر اندازه‌گیری و گزارش شده‌اند.

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

تمرین ۴-۱

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

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

$$100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

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

$$2.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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.

با توجه به اینکه چگالی بنزین کمتر از آب است، به‌روشنی آب آمده و قرار می‌گیرد و به‌سبب سبکی خود ادامه می‌دهد.

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

$$m = \rho V = 22.5 \times 2.0 = 450 \text{ g} = 0.45 \text{ kg}$$

چند کیلوگرم است؟

2.0 cm^3

پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:
برای حل این مسئله به رابطه ۱-۱ نیاز داریم

$$\rho = 22.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = (22.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0.45 \text{ kg}$$

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 L تا 5.5 L باشد. جرم 4.7 L خون چند کیلوگرم

$$m = \rho V$$

$$m = 1.05 \times 4.7 = 4.935 \text{ kg}$$

$$V = 4.7 \text{ L} = 4700 \text{ cm}^3$$

تمرین ۶-۱

جرم و وزن تقریبی هوای درون کلاستان را پیدا کنید.

$$m = \rho V \rightarrow m = 1.3 \times 40 = 52 \text{ kg}$$

$$(3 \times 4 \times 5) \text{ m}^3 \rightarrow \text{ابعاد فرضی یک کلاس}$$

$$\rho_{\text{هوای}} = 1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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، در آب شناور شده ولی بدون پوست، در آب فرو می‌رود. آن چه وضعیت یک جسم در مایع را مشخص می‌کند، چگالی آن است. سنگین‌تر یا سبک‌تر بودن^{۱۷} تأثیری ندارد.

الف) طرح آزمایشی برای اندازه گیری چگالی (یا حجم) یک جسم دانه (نامتقارن) ابتدا جرم جسم (m) را با یک ترازوی سنجی پس در استوانه مدرج با حجم مشخص آب مرز جرم را در استوانه و اندازه گیری، تفاوت جرم جدید و حجم اولیه که استوانه مدرج نشان می دهد، برابر با جرم جسم (V) می شود. در نهایت با استفاده از رابطه $m = \rho V$ چگالی جسم را بدست می آوریم.

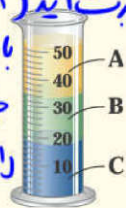
فعالیت ۶-



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 روبه رو نشان داده شده است حجم آن را اندازه بگیرید. ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و... را اندازه بگیرید. قبل و بعد از پر کردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

پروژه ۵-

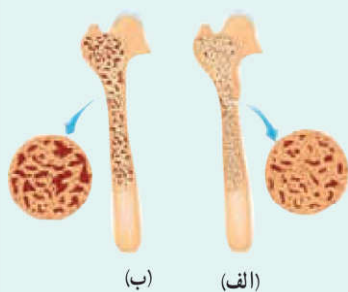
ب) آزمایشی برای اندازه گیری چگالی مایعات: جرم یک سرنگ را با ترازو اندازه گیری کنید. آن را با حجم مشخص از روغن (یا هر مایع دیگری...) پر کنید. به این ترتیب حجم روغن (V) را دارید. جرم سرنگ پر شده را مجدداً اندازه گیری کرده و عدد بدست آمده را از عدد اولیه که می گویید تا جرم روغن بدست آید (m) سپس سه مایع مخلوط نشدنی A، B و C که چگالی های متفاوتی دارند درون استوانه ای شیشه ای ریخته شده اند. این سه مایع عبارت اند از: جیوه (با چگالی $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)، روغن زیتون (با چگالی $0.92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) و آب (با چگالی $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) است. جنس هر یک از مایع های A، B و C درون استوانه را مشخص کنید. *** در مخلوط چند مایع، مایع که چگالی کمتری دارد، در لایه بالاتر قرار می گیرد.**



خوب است بدانید

کاهش چگالی استخوان که در پزشکی به نام پوکی استخوان شناخته می شود علت اصلی شکستگی های مفصل ران و لگن در بیشتر افراد مسن است. به همین دلیل تشخیص به موقع و پیشگیری از پیشرفت آن اهمیت زیادی دارد. چگالی سنجی استخوان یا چگالی سنجی روشی است که با استفاده از آن می توان میزان سختی استخوان های بدن را تعیین کرد.

امروزه مشخص شده است که میزان فعالیت بدنی از دوران نوجوانی، مصرف کلسیم (که منبع آن لبنیات است) و عوامل وراثتی نقش مهمی در تراکم استخوان دارد. شکل (الف) استخوانی را در حالت طبیعی و شکل (ب) در حالتی که دچار کاهش چگالی و پوکی شده است نشان می دهد.



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.

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؟



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

دستگاه بین‌المللی یکاها

۳ سعی کنید با نگاه کردن، طول برخی از اجسام 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؟

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

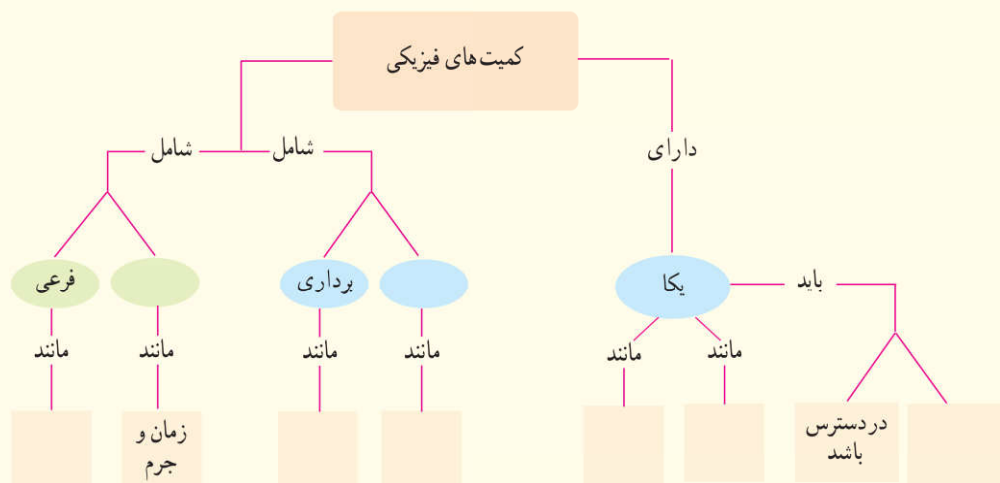
۵ گالیله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده تکرارشونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توانند به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار روند.

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 10^4 هزار متر مربع است.

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



۱- هیچ نظریه‌ای در فیزیک با عنوان نتیجه قطعی و نهایی در نظر گرفته نشده و امکان بازنگری و اصلاح آن وجود دارد.

۲- برای مثال در بررسی حرکت یک توپ، می‌توان از ابعاد توپ صرف نظر کرده و آن را به صورت نقطه‌ای فرض کرد. حرکت دوایمی توپ را آنرگذاشت و نقطه حرکت انتقال آن را در نظر بگیریم. از مقاومت هوا و تغییر نیروی وزن صرف نظر کنیم. باین فرض‌ها می‌توان مدلی ساده‌تر برای بررسی حرکت توپ داشت به طوری که حرکت زیر سؤال زفت و با کلیت آن لطفاً سر نخورد.

۳- X تعداد مشخص سوزن (مثلاً ۱۰۰ تا) را روی کفه ترازو ریخته و جرم آن‌ها را اندازه می‌گیریم. عدد حاصل را بر تعداد سوزن‌ها تقسیم کرده تا جرم یک سوزن بدست آید.

۵- می‌توان از شبانه روز، ماه، سال، تعداد سوزن یک آونگ، چگای کردن قطره‌های آب در اندازه‌گیری پدیده‌های تکرار شونده استفاده کرد.

۴- min = ? قرن لرا دالف

$$1 \times 10^{-4} \text{ قرن} \times \frac{100 \text{ year}}{1 \text{ قرن}} \times \frac{365 \text{ day}}{1 \text{ year}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ day}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 52,56 \text{ min}$$

* شروع، راه حل، اینجا به دنبال چیست، مهمترین قسمت طلمات. اب ۱.۹ S = ? year

$$1.9 \text{ S} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ S}} \times \frac{1 \text{ day}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ year}}{365 \text{ day}} = 51,7 \text{ year}$$

$$A_{\text{ز}} = 4\pi R^2$$

۷- اگر! و ارتباط یا چینی سؤال در امتحان بیاد عدد π به شما داده خواهد شد. مثلاً $\pi = 3,14$

$$A = 4 \times 3,14 \times (4400)^2 \text{ km}^2$$

* بیشتر به روال راه حل توجه بنمایید.

$$514457400 \text{ km}^2 \times \frac{1.4 \text{ m}^2}{1 \text{ km}^2} \times \frac{1 \text{ هکتار}}{1.4 \text{ m}^2} = 5,14574 \times 10^8 \text{ هکتار}$$

۸- g = ? قیراط ۱۸۲ دریان رفر

$$182 \text{ قیراط} \times \frac{200 \text{ mg}}{1 \text{ قیراط}} \times \frac{1.3 \text{ g}}{1 \text{ mg}} = 34,4 \text{ g}$$



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



۱۳ تندى شناورها در دریا بر حسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر ۵۱۴۴/۰ متر بر ثانیه است. تاریخچه گره دریایی به حدود ۴۰۰ سال پیش باز می‌گردد، زمانی که ملوانان تندى متوسط کشتی خود را با استفاده از وسیله‌ای به نام تندى سنج 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 تندى متوسط کشتی را به دست می‌آوردند. پس از آن، ملوان‌ها از واژه «گره» برای بیان تندى متوسط کشتی استفاده می‌کنند.

الف) اگر یک کشتی حمل کالا با تندى ۱۴ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیره لاوان حرکت کند، تندى 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 ۲/۵۴ 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؟



۱۰- $\frac{3.7 \cancel{\text{m}}}{14 \cancel{\text{day}}} \times \frac{1.4 \cancel{\mu\text{m}}}{1 \cancel{\text{m}}} \times \frac{1 \cancel{\text{day}}}{24 \cancel{\text{h}}} \times \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \cancel{\text{s}}} = 3 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$

از جنس طول صورت
از جنس زمان معکوس
باز هم ضوابط
سوال!

۱۱- $30000 \text{ ft} = ? \text{ m}$

$30000 \text{ ft} \times \frac{12 \cancel{\text{in}}}{1 \cancel{\text{ft}}} \times \frac{2.54 \cancel{\text{cm}}}{1 \cancel{\text{in}}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \cancel{\text{cm}}} = 9144 \text{ m}$

۱۲- $14 \text{ کره} = ? \frac{\text{km}}{\text{h}}$

۱۳- $14 \text{ کره} = 14 \times 0.0144 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{10^{-3} \text{ km}}{1 \cancel{\text{m}}} \times \frac{3600 \cancel{\text{s}}}{1 \text{ h}} = 25.9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

۱۴- $14 \text{ کره} = ? \text{ مایل}$

$14 \text{ کره} = 14 \times 0.0144 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ مایل}}{1609 \cancel{\text{m}}} \times \frac{3600 \cancel{\text{s}}}{1 \text{ h}} = 14 \frac{\text{مایل}}{\text{h}}$

۱۴- جواب یک مورد روبرای تون نوشتیم ... $120 \text{ km} = ? \text{ فنت}$

$120 \text{ km} \times \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1.2 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ ذره}}{1.4 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ فنت}}{4000 \cancel{\text{ذره}}} = 19.2 \text{ فنت}$

۱۵- $\frac{20}{10} = 2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

۱۴- 0.1 mm (ب) 0.001 mm (الف)

۱۷- الف، جرم قطعه را با ترازو صاب کنید. حجم آن را با استوانه‌های مدرج در آن مقدار آب وجود دارد بدست آوریم. پس با استفاده از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ ، چگالی قطعه را محاسبه کرده و با چگالی طلا مقایسه کنید. اگر برابر بودند، قطعه، خالص است و در غیر این صورت ناخالص دارد.

ب) $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho_{\text{شیمی}} = \frac{250}{1.573 \times 10^{-2}} = 15893.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$V = 1.573 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 = 1.573 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

پ، چگالی شیمی طلا یا قطعات زیرین مثل آلستر طلا و ... با چگالی طلای خالص متفاوت است. زیرا طلای خالص فلزی نرم و انعطاف پذیر بوده و برای مستحکم بودن آن، مقدار از فلزهای دیگر مثل مس، نقره و ... را با طلا ترکیب می‌کنند.

۱۸- $\rho = \frac{m}{V}$

$m = 1.24 \text{ g}$ و $V = 4.4 \text{ mL} = 4.4 \text{ cm}^3$

$\rho = \frac{1.24}{4.4} = 1.791 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

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.



۱-۶ چگالی

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

ب) بزرگ‌ترین شمش طلا با حجم $10^4 \text{ cm}^3 \times 1/573$ و جرم 250 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 ۱-۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.



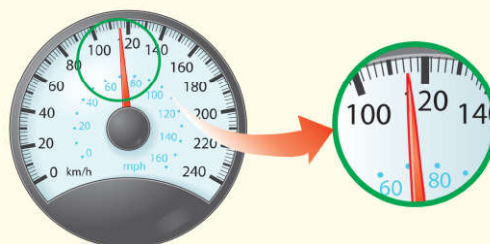
ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است^۱. تندی کشتی قسمت (الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

۱۲ ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ سانتی‌متر و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. قشم، 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.



۱-۵ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

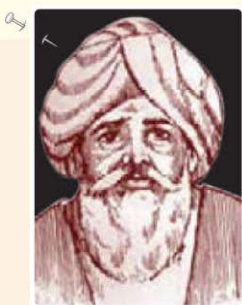
۱۵ شکل زیر، صفحه تندی سنج^۲ یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت این تندی سنج چقدر است؟



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.

۲- Speedometer

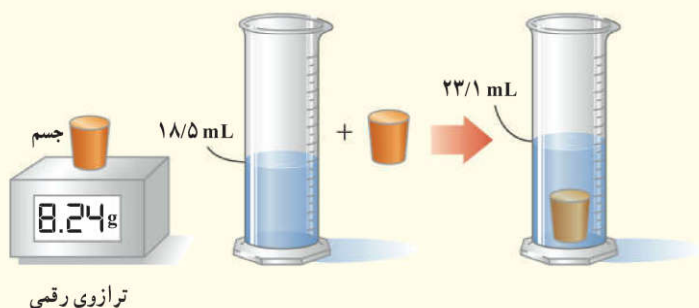


ابوبکر محمد بن حسین کرجی

ابوبکر محمد بن 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 الخفیة» (به معنی استخراج آب های نهان زمین) را تألیف کرد. از نوشته های کرجی می توان به میزان دانش وی درباره ویژگی های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی بی برد. به عنوان نمونه، از بهره وری خاک رُس برای آب بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش های فشرده کردن خاک سخن گفته است. کرجی همچنین در ارائه روش ها و ساختن ابزارهای اندازه گیری در تاریخ مهندسی جایگاه والایی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه گیری درازا (طول)، بلندی (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه برداری و گزینش راه، قنات، به تشریح اختراعاتی خود که دربرگیرنده ترازو و چند وسیله اندازه گیری دیگر است، در این کتاب می پردازد.

۱۸ برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کرده ایم. با توجه به داده های روی شکل، چگالی جسم را برحسب g/L و g/cm^3 حساب کنید.



۱۹ الف) ستاره های کوتوله سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود 10^9 میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده تشکیل دهنده این ستاره ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می شد؟ ابعاد قوطی کبریت را با خط کش اندازه گیری کنید. ب) اگر جمعیت کره زمین حدود ۸ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر ۶۰ کیلوگرم و ماده تشکیل دهنده انسان ها از جنس ستاره های کوتوله سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همه انسان ها در آن جای گیرند؟



فصل

ویژگی‌های فیزیکی مواد



چرا آب روی گلبرگ‌ها 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. شاره‌ها (واژه‌ای که برای مایع‌ها و گازها به کار می‌بریم) در بسیاری از جنبه‌های زندگی مان نقش مهمی دارند. جامدها بخش بزرگی از محیط فیزیکی پیرامون ما را می‌سازند و آنها را به هر شکلی که بخواهیم در می‌آوریم. خورشید، که به زمین نور و گرما می‌بخشد، از حالت چهارم ماده به نام پلاسما ساخته شده است.

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

★ مهم ★ ← به صورت کلی از این صفحه (۲۴) تا صفحه ۳۲ باید خوانده شود.

باغیزار خوب است به اینها که در زمون خانه آید، ستاره ها و دیگر مثل
۱-۲ حالت های ماده متی کتب، شکل ها و توصیحات آن، آزمایش ها، فعالیت ها و پرسش ها خوانده شود.

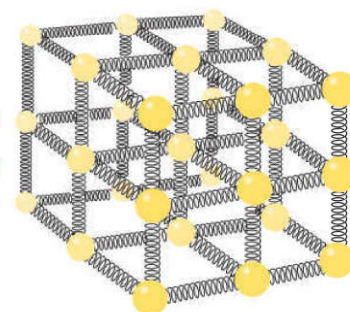
فصل ۲



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

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 بسیاریا (پلیمرها)، می تواند تا ۱۰۰۰ 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.

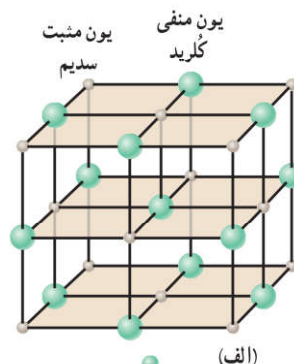
جامد، مایع و گاز سه حالت آشنای ماده هستند که در این فصل به بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی آنها خواهیم پرداخت. حالت چهارم ماده، پلازما نامیده می شود که اغلب در دماهای خیلی بالا به وجود می آید. ماده درون ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره ای، آذرخش، شفق های قطبی، آتش و ماده داخل لوله تابان لامپ های مهتابی از پلازما تشکیل شده است (شکل ۱-۲).



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

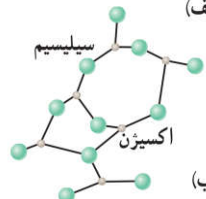
جامد: هزاران سال است که بشر از مواد جامد بهره می گیرد. اصطلاح های عصر حجر، عصر برنز، و عصر آهن اهمیت مواد جامد را در توسعه تمدن های پیشین نشان می دهد. تجربه روزمره نشان می دهد که جسم جامد، حجم و شکل معینی دارد. ذرات جسم جامد به سبب نیروهای الکتریکی که به یکدیگر وارد می کنند در کنار یکدیگر می مانند. این 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 فنر هایی به یکدیگر متصل اند. اگر این ذرات نسبت به وضعیت تعادل، به هم نزدیک تر یا از هم دور تر شوند، نیروی کشسانی بین فنرها آنها را به وضع تعادل برمی گرداند و جسم جامد، شکل و اندازه اولیه اش را حفظ می کند.



(الف)

اتم های برخی از جامد ها 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 سرد سازی آرام، ذرات سازنده مایع فرصت کافی دارند تا در طرح های منظم خود را مرتب کنند.



(ب)

ذرات سازنده جامدهای بی شکل (آمورف) برخلاف جامدهای بلورین، در طرح های منظمی کنار هم قرار ندارند. همیشه، مثالی از یک جامد بی شکل است (شکل ۲-۳ ب). ماهیت آمورف شیشه های طبیعی کاملاً بایدار است. گروه دیگری از مواد هستند که وقتی در حالت مایع یا بخار به سرعت سرد شوند جامد بی شکل به وجود می آید ولی وقتی این مواد تا دمای معینی گرم شوند به سرعت ساختار بلورین پیدا می کنند. فلزات مثالی از این دسته مواد هستند. در این فرایند سرد سازی سریع، ذرات فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم، مرتب شوند. بنابراین در طرح نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می مانند.

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.

فلزات



فعالیت ۱-۲

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



شکل ۲-۴ ذرات سازنده جوهر به تدریج در آب پخش می شوند.



شکل ۲-۵ نشان دهنده حرکت نامنظم و کاتوره ای یک مولکول آب

مایع فاصله ذرات سازنده مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است، اما مولکول های مایع نظم و تقارن جامدهای بلورین را ندارند. مایع به راحتی جاری می شود و به شکل ظرف خودش درمی آید.

پدیده پخش در مایع ها: اگر مقداری نمک را در یک لیوان آب بریزید، پس از مدتی آب، شور می شود. اگر چند قطره جوهر 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 جوهر در آب درون لیوان پخش شده اند. **دلیل پخش ذرات نمک و جوهر 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 جوهر، این گونه مواد در آب پخش می شوند.**

سوال، طرح آزمایش، بنویسید که نشان دهنده پدیده پخش در مایعات باشد.

خوب است بدانید



بلورهای مایع موادی هستند که ویژگی های فیزیکی آنها چیزی بین خواص مایع ها و بلورهای جامد است. این بلورها در سال ۱۸۸۸ میلادی توسط گیاه شناس و شیمی دان اتریشی به نام فردریک رینیتزر^۱ کشف شدند. شناخت رفتار فیزیکی بلورهای مایع تا ده ها سال پس از کشف، برای دانشمندان کار ساده ای نبود. وقتی بلور مایعی بین دو لایه شفاف شیشه ای باشد در شرایط معمولی، مولکول های آن به صورت نسبتاً منظم، در یک صف قرار گرفته اند و نور را به خوبی از خود عبور می دهند. اما وقتی یک جریان ضعیف الکتریکی از آن می گذرد، مولکول های بلور مایع نظم ذاتی خود را از دست می دهند و محفظه بلور تیره رنگ می شود. اگر جریان الکتریکی تنها از برخی از قسمت های بلور عبور کند تنها همان قسمت ها تیره رنگ می شوند. در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی اولین دسته از بلورهای مایع پایدار به صورت تجاری ساخته و از آن در تولید صفحه های نمایشگرهای بلور مایع (LCD) استفاده شد. در سال ۱۹۹۱ میلادی پیر ژیل دو ژن، فیزیک دان فرانسوی به خاطر تحقیقاتش در یافتن روش های استفاده از بلورهای مایع، جایزه نوبل فیزیک را دریافت کرد. بخش کوچکی از کاربردهای بلور مایع در ابزارهای نشان داده شده در شکل روبه رو آمده است.

^۱ Friedrich Reinitzer (1827-1927)

★ درگاه‌ها فاصله بین مولکول‌ها زیاد بوده و با هم پیدایش مولکول‌ها (که گویانه برداشته) وجود ندارد. پس نمی‌توانیم گازها تراکم پذیر بوده و نمی‌توانیم آن‌ها را تا حدی متراکم کرد.

گاز: ماده‌ای است که شکل مشخصی ندارد. اتم‌ها و مولکول‌های آن آزادانه و با تندی بسیار زیاد به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند. فاصله میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازه آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازه مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم است در حالی که فاصله میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود $25\text{\AA}$ است (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

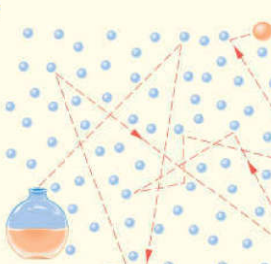
فعالیت ۲-۲
سوال: طرح آزمایش را بنویسید که نشان دهنده تراکم ناپذیری گازها باشد.
تأثیر: رنگ را از هوا پر کرده و خروجی آن را مسدود می‌کنیم، با فشار دادن پیستون رنگ مایل به سبز می‌شود، حجم کاهش می‌یابد مثلاً از ۱۰ س.س به ۴ س.س. بنابراین گازها تراکم پذیر هستند.
ملاحظات: رنگ را از آب پر کرده و قسمت خروجی آن را با انگشت خود مسدود می‌کنیم، با فشار دادن پیستون رنگ متوجه خواهیم شد که حجم آب را نمی‌توانیم کاهش داد بنابراین مایعات تراکم ناپذیرند.

پیش ۱-۲ طرح آزمایش برای پر کردن به پدیده پخش در گازها

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

حرکت نامنظم و نامنظم مولکول‌ها
گاز و جود ذرات آن‌ها با مولکول‌ها
عطر باعث پخش شدن آن‌ها و حضور
ای مولکول‌ها در تمام فضای اتاق
شده و به تدریج بوی عطر در تمام اجزای اتاق حس می‌شود.

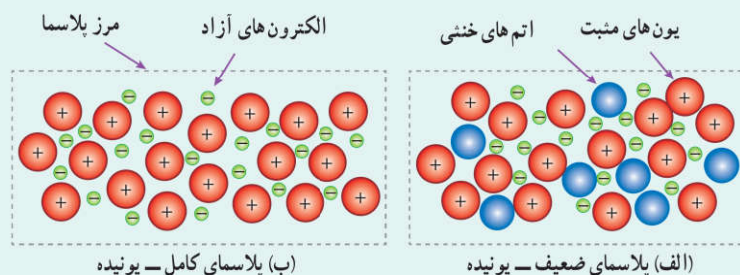
چون تندی حرکت نامنظم مولکول‌ها گاز خیلی بیشتر بوده و پخش گاز در گاز سریعتر از پدیده پخش در مایعات است.



خوب است بدانید

اگر این مطلب را زیر نور لامپ مهتابی می‌خوانید برای یافتن پلازما لازم نیست راه دوری بروید. ماده داخل لوله تابان لامپ مهتابی، پلازماست. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد (چندین هزار درجه سلسیوس به بالا) گرم شود، یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. ماده حاصل، مجموعه‌ای از الکترون‌های آزاد، یون‌ها و اتم‌های خنثی خواهد بود. این حالت یونیده و شبه‌خنثای ماده، که حاوی مقادیر مساوی از بارهای مثبت و منفی است، پلازما نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده نیز یاد می‌کنند (شکل‌های الف و ب).

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



قسمت عمده ای از جهان قابل مشاهده، از پلاسما تشکیل شده است. خورشید، ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره ای، برخی از لایه های بالایی جو زمین، آذرخش، شفق های قطبی و شعله های آتش از جنس پلاسما هستند. پلاسما به طور طبیعی روی زمین به ندرت یافت می شود. در انفجارهای هسته ای، راکتورهای گداخت هسته ای و ... پلاسما را می توان به طور مصنوعی ایجاد کرد. افزون بر اینها پلاسما در لامپ های نئون و مهتابی (حاوی گازهای جیوه و آرگون)، که بر اثر تخلیه الکتریکی تابش می کند، سال هاست به عنوان چشمه های نور در زندگی روزمره ما به کار می روند.

پلاسما، برخلاف گاز، رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرماست. بین ذرات پلاسما نیروی الکتریکی وجود دارد. ماهیت بلندپرو بودن این نیرو، در رفتار پلاسما نقش مهمی ایفا می کند. توجه به ویژگی های خاص پلاسما و بهره مندی از آن، سبب کاربردهای فراوانی در صنعت، فناوری، پزشکی، دندانپزشکی و ... شده است. از جمله این کاربردها می توان به نمایشگرهای صفحه تخت، ابزارهای جوش، برش و سوراخ کاری، چشمه های نور و مبدل های انرژی، سوزن های پلاسمایی و ... اشاره کرد (شکل های زیر). در چند دهه اخیر، فیزیک پلاسما به یکی از رشته های روبه رشد و پرکاربرد فیزیک تبدیل شده است.



کاربرد پلاسما در دندانپزشکی



کاربرد پلاسما در پزشکی



برش کاری با پلاسما



جوشکاری با پلاسما

خوب است بدانید

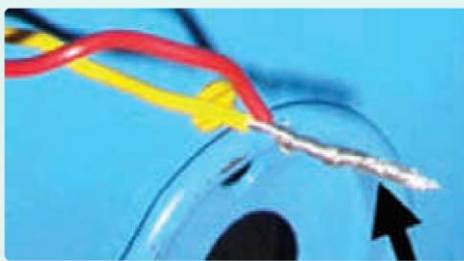
ویژگی های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

علم نانو یکی از شاخه های جدید علوم است که به دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. ویژگی های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، به طور قابل توجهی تغییر می کند.

مثلاً نقطه ذوب طلا (1064°C) را می توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و درستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به 1064°C می رسد طلای جامد تغییر حالت می دهد و به شکل توده ای از طلای مایع درمی آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعه بزرگ طلا، که می توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه ای را که قطر آن تنها چند نانومتر ($1\text{ nm} = 1 \times 10^{-9}\text{ m}$) است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی یابیم که دمای ذوب طلا فقط 427°C است. آیا اشتباه

کرده‌ایم؟ آزمایش‌های بیشتر نشان می‌دهند که اشتباهی رخ نداده است. با این آزمایش در واقع در می‌یابیم که دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد.

به کمک مثالی که زدیم می‌توان گفت علوم نانو، شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانو بررسی می‌کند. ویژگی‌های فیزیکی هر ماده‌ای، مانند نقطه ذوب طلا، با کم شدن اندازه آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازه آن ماده به مقیاس نانو کاهش یابد (بسته به نوع ماده و ویژگی فیزیکی مورد اندازه‌گیری، این اندازه می‌تواند حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد) چه اتفاقی می‌افتد؟ ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل: نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و... اغلب می‌تواند به طور چشمگیری در مقیاس نانو تغییر کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد بهره‌برداری می‌کند که در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. لازم نیست که همه ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانوذره (مانند ذره‌های کوچک طلا با دمای ذوب کم که پیش از این توصیف شدند) در هر سه بُعد کوچک است، اما اگر صرفاً یک بُعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم در این صورت یک نانولایه داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانولایه‌ها نیز همچون نانوذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.



سیم‌های آلومینیمی که روی هم پیچیده شده‌اند.

برای مثال، آلومینیم یکی از رساناهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت سیم، قوطی نوشابه یا بال هواپیما باشد، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سیم آلومینیمی را مطابق شکل روبه‌رو به هم وصل می‌کنیم، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟ برای

پاسخ به این پرسش باید به ضخامت لایه‌ای توجه کنیم که روی سطح آلومینیم تشکیل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که وقتی قطعه‌ای آلومینیمی در مجاورت هوا قرار می‌گیرد لایه‌ای بسیار نازک از اکسید آلومینیم روی سطح آن تشکیل می‌شود که ضخامت آن از مرتبه نانومتر است. در این مقیاس، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم تغییر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود. بنابراین هنگام اتصال دو سیم آلومینیمی، الکترون‌ها به طور آزادانه از یک سیم به

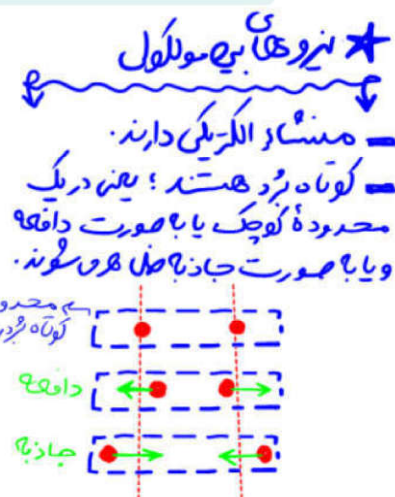


@mrgrezaee

@mrphysic123

۲-۲ نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲-۲ دیدید که تراکم کردن آب درون سرنگ عملاً امکان‌پذیر نیست. برای توجیه پدیده‌هایی مشابه این، باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. به‌طور کلی، نیروهای بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای بین مولکول‌های آب را نیروی هم‌جسبی می‌نامیم (شکل ۷-۲). 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. 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

① نیروی هم‌جسبی: نیروی بین مولکول‌های همسان

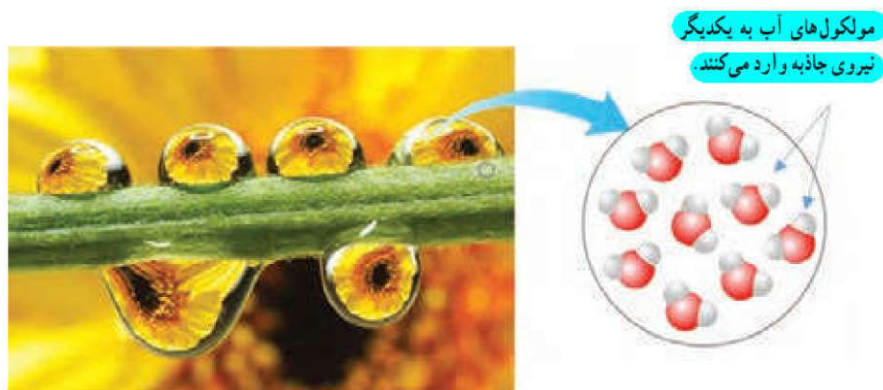
② نیروی دگرجسبی: نیروی بین مولکول‌های ناهمسان

ترکمان پذیر بودن مایع

کشش سطحی

ترشوندگی

ارزشیابی



مولکول‌های آب به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند.



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 ← مای از کوه برد بودن نیروهای بین مولکول

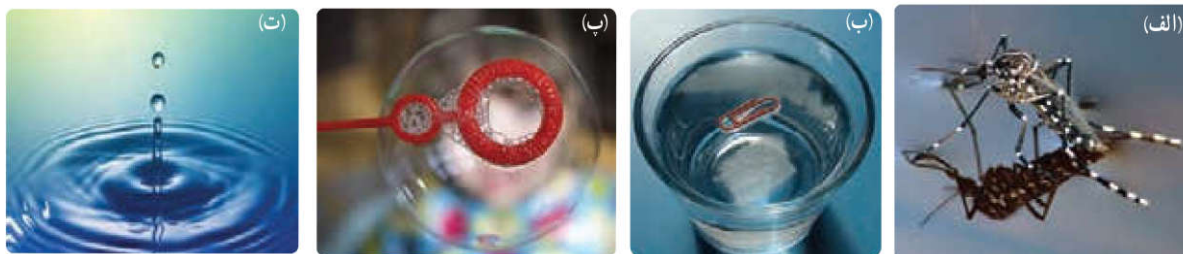
وقتی شیشه می‌شکند با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم نمی‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن قدر گرم کنیم که نرم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاه‌بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

و حتی به قطعه‌ها از بی‌کریایی داده می‌شود، این از بی‌کریایی درون آن‌ها رفته و به مولکول‌ها داده شده و جیبش و توان مولکول‌ها را از بی‌کریایی در دهه بدین ترتیب وقتی قطعات کنار یکدیگر قرار گیرند، مولکول‌ها در محدوده کوه برد و اثرات و نیروی بین مولکول برقرار شود.

کشش 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 کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد. به دلیل نیروهای ربایشی که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوسته تحت کشش رفتار می‌کند و کشش سطحی روی می‌دهد. با کشش 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.

* دستان دست بویایی
همان‌طور که قبلاً گفتیم، واقعاً خط‌باض
کتاب مع برده و باید خوانده شود.



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 کشش سطحی هستند.

خیلی مهم

طرح آزمایش براس برآیند به کشش سطح

فعالیت ۳-۲

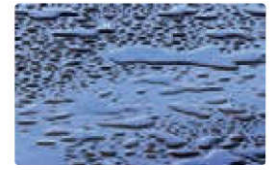
پس بعد از توضیحات، نتیجه نوشتن شود.
بنابراین می توان به وجود نیروی هم چسبی بین مولکول های روی سطح آب بر روی برآیند کشش سطحی اشاره کرد.



(الف) سعی کنید یک سوزن ته گرد یا گیره کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می توانید 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.

(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.
اختلاف کردن مواد شوینده باعث کاهش نیروی بین مولکول های آب و ضعیف شدن هم چسبی و کشش سطحی مولکول های روی سطح می شود.

ترشوندگی: دیدیم که نیروی هم چسبی بین مولکول های یک ماده سبب بروز پدیده های جالبی می شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول های آنها ظاهر می شود که به آن **نیروی دگر چسبی** می گوئیم. هم چسبی و دگر چسبی هر دو نیروهای بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که هم چسبی، جاذبه بین مولکول های همسان و دگر چسبی جاذبه بین مولکول های ناهمسان است.



شکل ۳-۲ الف پخش آب روی سطح شیشه (ب) قطره ای شدن جیوه روی سطح شیشه

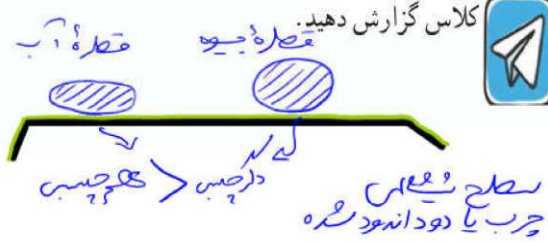
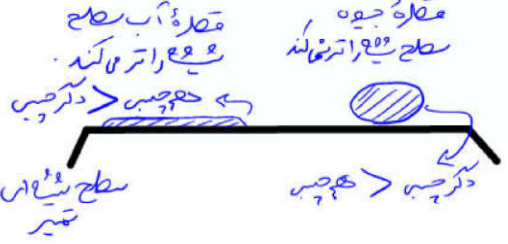
هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می تواند رخ دهد. یکی اینکه دگر چسبی بین مولکول های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول های مایع بیشتر باشد. در این صورت می گوئیم مایع، جامد را تر یا خیس می کند. مثلاً در شکل ۲-۹ الف می بینیم که آب، سطح شیشه تمیز را خیس کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم چسبی بین مولکول های مایع از نیروی دگر چسبی بین مولکول های مایع و جامد بیشتر باشد می گوئیم مایع جامد را تر نمی کند. در شکل ۲-۹ ب می بینیم که سطح شیشه با جیوه خیس نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است (هرچه قطره بزرگ تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را تخت تر می کند).

پرسش ۳-۲

شکل روبه رو خروج قطره های روغن با دمای متفاوت را از دهانه دو قطره چکان نشان می دهد.
(الف) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم چسبی مولکول های یک مایع می گذارد؟ **باعث کاهش نیروی هم چسبی می شود.**
(ب) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره های روغن کمتر است. **در شکل چپ. با توجه به اینکه قطره ها بزرگ تر بوده یعنی نیروی هم چسبی بین مولکول های روغن بزرگ تر است و**
(پ) چرا هنگام شستن ظروف، افزون بر استفاده از مایع ظرف شویی، ترجیح می دهیم از آب گرم **استفاده از آب گرم، باعث بالا رفتن دمای ظروف و مواد غذایی می شود و چون نیروی دگر چسبی می باشد، کشش ها راحت تر از ظروف جدا می شوند.**



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 دود اندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دود اندود شده آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.
بار دیگر سطح شیشه را به جای دود اندود کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهده خود را توضیح دهید



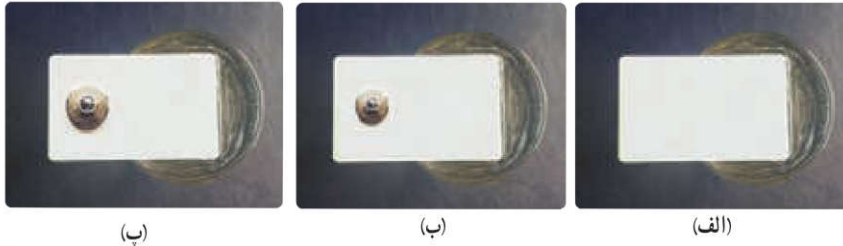
@mrgrazeae
@mrphysic123

آزمایش برای درک نیروی دگرچسبی

فعالیت ۲-۵

لیوان را از آب پرمانیم تا لب زیر شود. یک کارت بانکی را روی لب لیوان می‌گذاریم به طوری که نیکی از کارت با سطح آب در تماس باشد. مثلاً همه می‌کنیم که کارت نیفتد، حتی اگر چند وزنه کوچک را در سمت دیگر کارت که بیرون لیوان است بگذاریم، کارت نیفتد. **در این ترتیب**

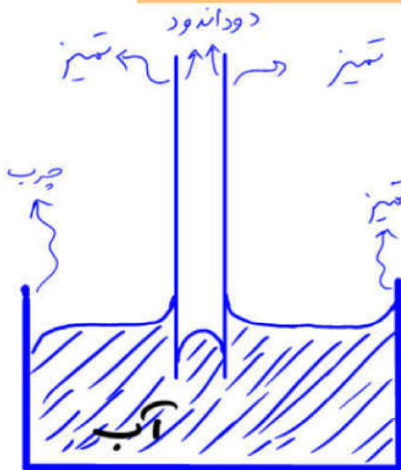
این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک **می‌توان با وجود** کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لب لیوان قرار **نیروی دگرچسبی** دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزنه‌های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست **در این مولکول‌ها** (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و...). نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته‌اید توضیح دهید. **سطح آب و سطح کارت** یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجه مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید. **پای برد**



(ب)

(ب)

(الف)



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

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

در چنین لوله‌هایی نشان می‌دهد.

دگرچسبی > هم‌چسبی

هم‌چسبی > دگرچسبی

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



(ت)

(ب)

(ب)

(الف)

یعنی اگر مایع بخاطر بالا رود، بالاتر رفته (شکل الف)
و اگر بخاطر پایین رود، پایین‌تر رفته (شکل ب)

هرچه قطر لوله موین کمتر باشد، اثر موینگی با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد.

برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر موینگی 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 ۲-۱۰ 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 ۲-۱۰ ب سطح جیوه در لوله موین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

فعالیت ۲-۶

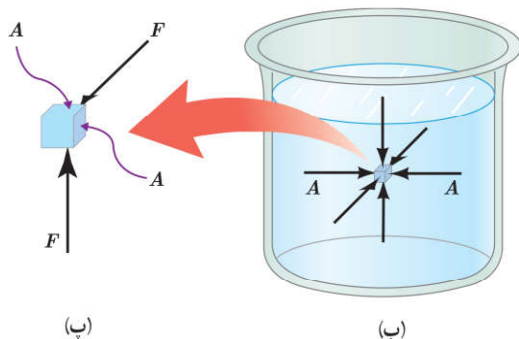


سازه‌های آبی شوشتر که از دوران هخامنشیان تا ساسانیان، جهت بهره‌گیری بیشتر از آب ساخته شده‌اند.

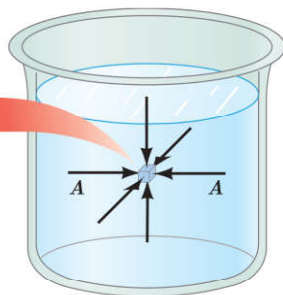
در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر موینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای موین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند. تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندود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

۲-۳ فشار در شاره‌ها

وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشند، مانند جداریک 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 حرکتند؛ 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.



(ب)



(ب)



(الف)

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.
(پ) برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.

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

$$P = \frac{F}{A} \quad (۱-۲)$$

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

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

ح نکته: برای مثال های کتاب خودتان راه حل بنویسید.

مثال ۱-۲



یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می کند (شکل روبه رو). این زیردریایی تعدادی پنجره کوچک دایره ای شکل به شعاع 0.4 m دارد. اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره ها برابر $9 \times 10^5 \text{ Pa}$ باشد، بزرگی نیروی عمودی که آب بر سطح خارجی یکی از این پنجره ها وارد می کند چقدر است؟

$F = ?$ خواست سوال

$$F = PA$$

$$A = \pi r^2 = \pi \times (0.4)^2 = 0.14 \pi \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow F = 9 \times 10^5 \times 0.14 \pi$$

$$F = 1.26 \pi \times 10^5 \text{ Pa}$$

یک نکته همیگی: اگر در مسائل π داده نشد، یا در محاسبه ساده می شود و یا جواب آخر بر حسب آن بدست می آید. (از خودتون عدد گذارن نکنید!)

محاسبه فشار در شاره ها: در علوم سال نهم دیدید فشار هوا در ارتفاع های 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 می زنید، با افزایش عمق از

سطح آب، افزایش فشار را روی گوش های خود احساس می کنید. همچنین با انجام آزمایش هایی

مشابه آزمایش شکل ۱۲-۲ دیدید که با افزایش عمق از سطح شاره، فشار ناشی از شاره نیز افزایش

می یابد. در ادامه می خواهیم یک رابطه کلی برای محاسبه فشار در هر نقطه دلخواه درون یک شاره

ساکن به دست آوریم. به این منظور، فرض می کنیم شتاب گرانش g و چگالی شاره، یکنواخت و

برابر ρ باشد.

در شکل ۱۳-۲ الف، بخشی از شاره به ارتفاع h نشان داده شده است که بین دو سطح

فرضی A قرار دارد. نیروهای در راستای قائم، که بر این بخش از شاره وارد می شود در شکل

۱۳-۲ ب نشان داده شده است. چون شاره در حال تعادل است، نیروها متوازن اند و برابند آنها

صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم:

$$F_4 = F_1 + mg$$

$$P_4 A = P_1 A + mg$$



شکل ۱۳-۲ ب باز کردن در بطری، آب از سوراخ های

ایجاد شده در بطری، با فشار متفاوت خارج می شود.

سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

$$P_{\text{عمق}} = P_{\text{سطح}} + P_{\text{عمق}} \rightarrow \rho gh \text{ یا } \frac{mg}{A} \text{ یا } \frac{cmHg}{mmHg}$$

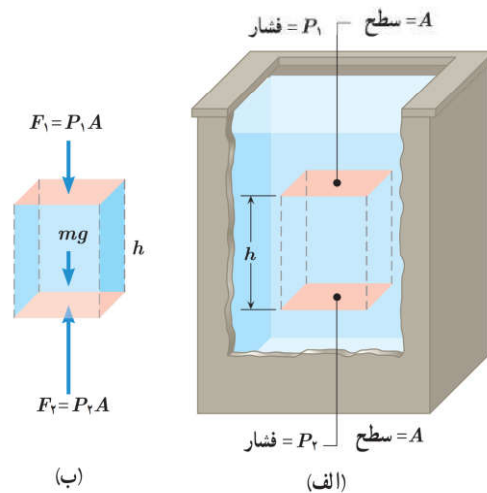
با جایگذاری $m = \rho V = \rho Ah$ در رابطه اخیر و حذف A از طرفین

تساوی داریم:

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

معمولاً رابطه ۲-۲ را بر حسب عمق از سطح شاره بیان می کنند (شکل ۲-۱۴). به این منظور نقطه ۱ را در سطح شاره می گیرند که فشار برابر P_1 است. نقطه ۲ را در هر جایی درون شاره می توان گرفت. فشار در این نقطه را با P_r نمایش می دهیم. به این ترتیب داریم:

$$P = P_1 + \rho gh \quad (2-3)$$

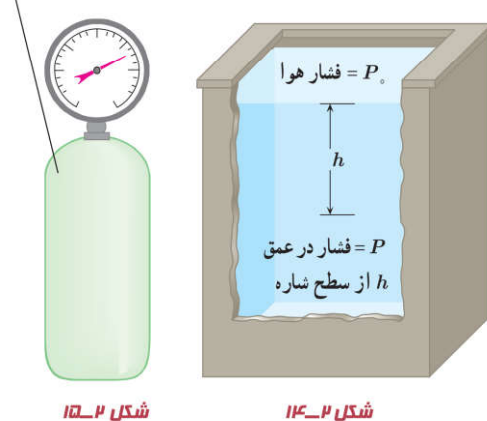


شکل ۲-۱۴ (الف) بخشی از شاره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شاره در راستای قائم.

این رابطه نشان می دهد فشار در عمق h از سطح شاره، به اندازه ρgh از فشار P_1 در سطح شاره بیشتر است. همان طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود $10^5 \times 10^3 \times 10^3$ پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می گویند. رابطه های ۲-۲ و ۲-۳ برای همه شاره 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.

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

دقت فرمایید ←



شکل ۲-۱۵

شکل ۲-۱۴

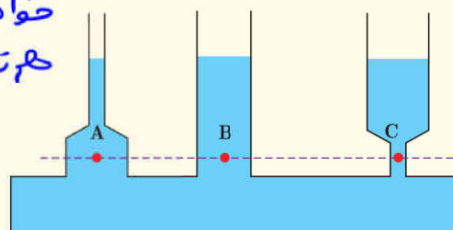
پرسش ۲-۴

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.

این آزمایش را به طور تجربی انجام دهید
خواهید دید که سطح مایع در شاخه ها
هم تراز خواهد بود.

$$P = P_0 + \rho gh$$

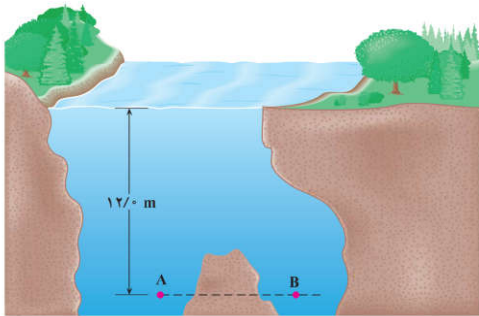
$$h_A = h_B = h_C \rightarrow P_A = P_B = P_C$$



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

حذف

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 kg/m^3 و فشار هوا در سطح دریاچه را $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ در نظر بگیرید.

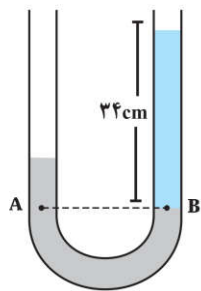
پاسخ: با توجه به رابطه ۳-۲، فشار در نقطه A برابر است با:

$$P = P_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 (\text{Pa}) + (1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(12/0 \text{ m}) = 2.19 \times 10^5 \text{ Pa}$$

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

حذف

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 ۳۴ cm برسد (شکل روبه رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی متر است؟ (مقیاس ها در این شکل واقعی نیست.)

پاسخ: در شکل روبه رو، نقاط A و B که درون جیوه انتخاب شده اند، هم ترازند، بنابراین $P_A = P_B$ است. به این ترتیب می توان نوشت:

$$P_0 + \rho_m gh_m = P_0 + \rho_w gh_w \Rightarrow \rho_m h_m = \rho_w h_w$$

$$(13600 \text{ kg/m}^3) \times h_m = (1000 \text{ kg/m}^3) \times 34 \text{ cm} \Rightarrow h_m = 2/5 \text{ cm}$$

(توجه کنید که در روابط بالا زیرنویس m برای جیوه و زیرنویس w برای آب انتخاب شده اند.)

مثال ۴-۲

بالا



اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع ۴۵ متر، چقدر است؟ چگالی هوا را تقریباً $1/0 \text{ kg/m}^3$ بگیرید. ($g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$)

$$P_{\text{پایین}} = P_{\text{بالا}} + \rho gh$$

$$\rightarrow P_{\text{پایین}} - P_{\text{بالا}} = 1 \times 10 \times 45 = 450 \text{ Pa}$$

پایین

$F_{\text{شماره}} = ?$

فرض کنید قسمت دوم سوال متغیر پرسیده شده باشد.

$$F_{\text{شماره}} = P_{\text{شماره}} A \rightarrow F_{\text{شماره}} = 101000 \times (1 \times 10^{-2}) = 1010 \text{ N}$$

$$P_{\text{شماره}} = P_0 + \rho g h = 101000 + 1000 \times 10 \times 0.01 = 102000 \text{ Pa}$$

تمرین ۱-۲

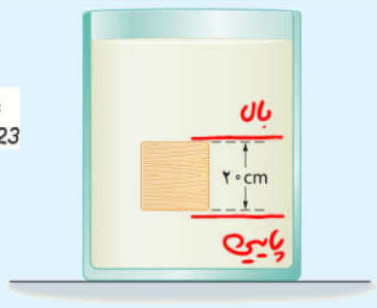
شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه ای شنا می کند. فشار در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پرده گوش را یک سانتی متر مربع (1 cm^2) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پرده گوش این شناگر وارد می شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ بگیرید.

چون مشخص نکرده، یعنی همان نیروی کل $(\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$

تمرین ۲-۲

مسئله

@mrgrezaee
@mrphysic123

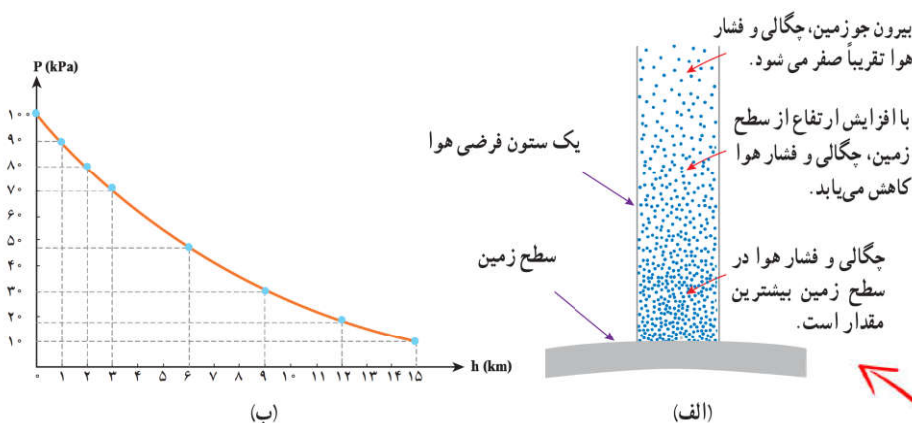


جسم مکعبی به طول ضلع 2 cm درون شاره ای غوطه ور و در حال تعادل است (شکل روبه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر 10^5 و 1.05 کیلو پاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی: از رابطه ۲-۲ استفاده کنید.)

$$P_{\text{پایین}} = P_{\text{بالا}} + \rho g h$$

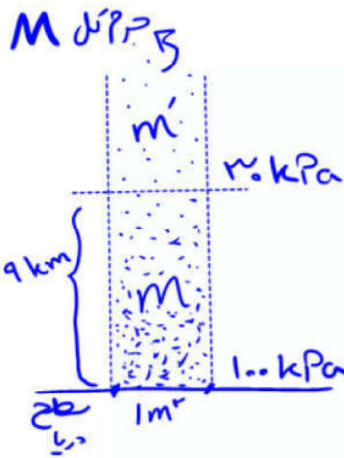
$$105000 = 100000 + \rho \times 10 \times 0.02 \rightarrow \rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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 kPa به دست می آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به 50 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 ۱۶-۲ الف). محاسبه های دقیق تر نشان می دهند که تغییر فشار بر حسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۱۶-۲ 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.



شکل ۱۶-۲ 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.

توجه بفرمایید



$$P_{\text{بایه}} = P_{\text{وی}} + \frac{mg}{A}$$

$$100,000 = 30,000 + \frac{m \times 10}{1} \rightarrow m = 7,000 \text{ kg}$$

$$P = \frac{Mg}{A} \rightarrow 10^5 = \frac{M \times 10}{1} \rightarrow M = 10,000 \text{ kg}$$

$$\frac{m}{M} \times 100 = \frac{7,000}{10,000} \times 100 = 70\%$$

مهم → 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:

$$1 \text{ bar} = 1/000 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1/000 \times 10^5 \text{ Pa}$$

یک ستون فرضی از هوا به سطح مقطع 1 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 bar در نظر

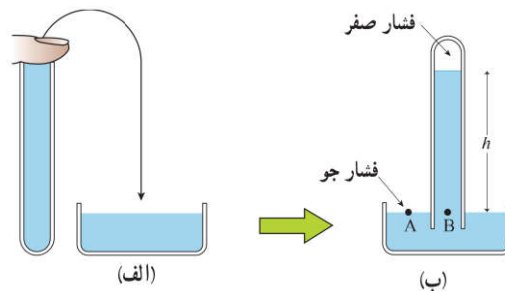
بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ اگر فشار هوا در ارتفاع 9 km از سطح دریا 30 kPa باشد، چند درصد جرم هوا تا این ارتفاع وجود دارد؟

$$m = 7,000 \text{ kg}$$

فشارسنج هوا (بارومتر): وسیله ای ساده که برای اندازه گیری فشار جو به کار می رود. این فشارسنج در سال ۱۶۴۳ میلادی توسط توریچلی فیزیک دان ایتالیایی اختراع شد.

فشارسنج هوا شامل یک لوله شیشه ای بلند (به طول تقریبی ۸۰ سانتی متر) با یک سر بسته است که از جیوه پر شده (شکل ۱۷-۲ الف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۱۷-۲ ب). فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز

بوده و در عمل برابر صفر فرض می شود.



فشارسنج هوا
یا جوسنج
یا بارومتر

شکل ۱۷-۲ فشارسنج جیوه ای که برای اندازه گیری فشار جو به کار می رود.

فشار در نقطه B برابر ρgh و در نقطه A برابر P_0 است. چون نقاط A و B هم ترازند، می توان نوشت:

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

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 ۷۶۰ 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.^۲

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 توریچلی، ۱ mmHg را یک تور (torr) می نامند.



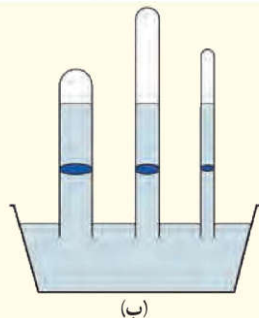
اوانجلیستا توریچلی (۱۶۴۷-۱۶۰۸م) یکی از فیزیک دانان و ریاضی دانان ایتالیایی و از شاگردان گالیله بود. هرچند توریچلی فعالیت هایی در ریاضیات و نورشناسی نیز داشته است ولی شهرت اصلی وی برای اختراع بارومتر یا جوسنج است. وی به کمک این جوسنج ساده توانست نشان دهد که فشار هوا به ارتفاع از سطح دریا بستگی دارد. توریچلی همچنین به کمک این ابزار ساده توانست در بالای ستون جیوه

درون لوله، خلأ نسبی ایجاد کند که به

خلأ توریچلی شناخته می شود.

الف) آرایش استفاده شود، طول لوله مورد استفاده در آزمایش خیلی بلند و سئود (حد اقل ۱۰m) که انجام آزمایش را سخت و خطرناک بالا برد.
 فصل ۲
 ب) ارتفاع ستون جیوه نقطه فشار معین محیط را در آن سطح بکنی دارد!

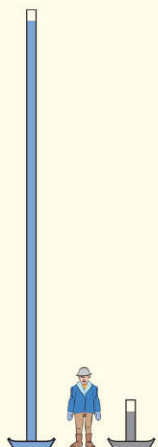
پرسش ۲-۵



(ب)



(ب)



(الف)

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).

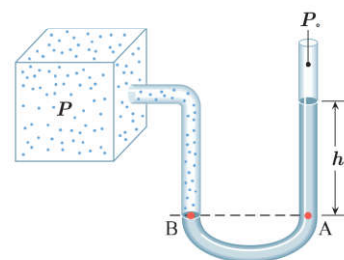
ب) در آزمایش توریجلی از لوله های غیر موین استفاده می شود. شکل (ب) این آزمایش را با سه لوله با سطح مقطع و طول متفاوت نشان می دهد. توضیح دهید چرا ارتفاع ستون جیوه در سه لوله برابر است.

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 در پوش بالایی این نوع قلم های خودکار، سوراخ ریزی ایجاد می کنند (شکل پ). دلیل این کار را توضیح دهید.

پ) دلیل این سوراخ، نفوذ هوا به درون لوله خودکار و وارد شدن فشار به سطح آزاد مایع آن است تا ستون آن صاف شده و خودکار روان تر بنویسد.

فشارسنج شاردها (مانومتر): یکی از وسیله های ساده برای اندازه گیری فشار یک شارده محصور، فشارسنج U شکل است. شکل ۲-۱۸ لوله باز U شکلی را نشان می دهد که حاوی مایعی به چگالی ρ ، 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 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:

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

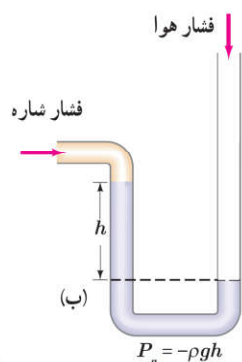


در رابطه اخیر فشار P را **فشار مطلق** و $P - P_0$ که تفاوت بین فشار مطلق و فشار جو است را **فشار پیمانه ای** می نامند و معمولاً آن را با نماد P_g نشان می دهند. بدین ترتیب در شکل ۲-۱۸ فشار پیمانه ای را به سادگی می توان از رابطه $P_g = \rho gh$ به دست آورد. اگر فشار شارده بیشتر از فشار جو باشد، فشار پیمانه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

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

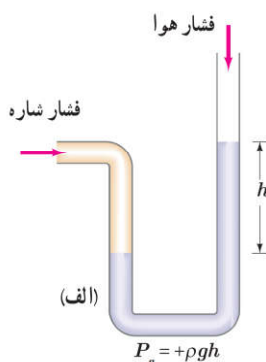
(مهم و کاربردی)

فشار جو است، فشار پیمانه ای منفی است (شکل ۲-۱۹ ب).



(ب)

$$P_g = -\rho gh$$



(الف)

$$P_g = +\rho gh$$

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

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



@mrgrazee
 @mrphysic123

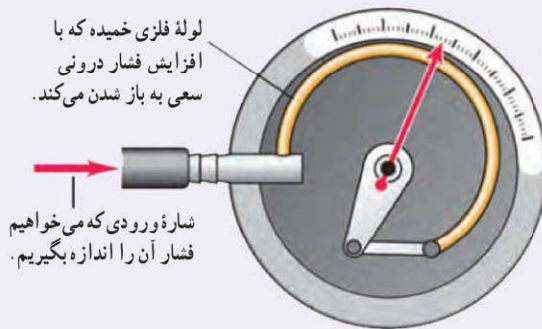
۱- نمایه g از سر حرف واژه gauge به معنای پیمانه (سنجه) گرفته شده است.

فعالیت ۲-۷

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

نمونه کاربرد این فشارسنج همگام است.



فشارسنج بوردون: بسیاری از فشارسنج ها 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 فشارسنج ها 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.

★ این نوع فشارسنج ها، فشار پیمانه ای را نشان می دهند.

مثال ۲-۵ حذف

یکی دیگر از یکاهای 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 mm تعریف می شود (در دمای ۰°C و به ازای $g = 9.8 \text{ N/kg}$). هر اتمسفر، معادل چند پاسکال است؟ چگالی جیوه را برابر 13600 kg/m^3 بگیرید.

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:

$$P_0 = \rho gh = (13600 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ N/kg}) (0.76 \text{ m}) = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

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 1028 kg/m^3 بگیرید.

خواص سوال

$$\left. \begin{aligned} P &= P_0 - P_{\text{عمق}} \quad \text{پیمانه عمق} \\ P_{\text{عمق}} &= P_0 + \rho gh \end{aligned} \right\} \rightarrow P = \rho gh = 1028 \times 10 \times 93 = \dots$$

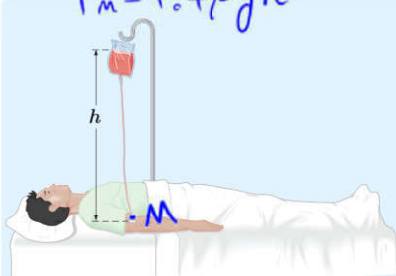
۱- Bourdon gauge

۲- در اغلب این فشارسنج ها از یکای psi برای نشان دادن فشار استفاده می کنند به طوری که $1 \text{ psi} \approx 6900 \text{ Pa}$ است. (psi به معنای پوند-نیرو بر اینچ مربع pound-force per square inch است.)

(است.)

$$P_{\text{بیمار}} = P_m - P_0 \quad \left\{ \begin{array}{l} P_m = P_0 + \rho gh \\ P = \rho gh = 1050 \times 10 \times 12 = 12600 \text{ Pa} \end{array} \right.$$

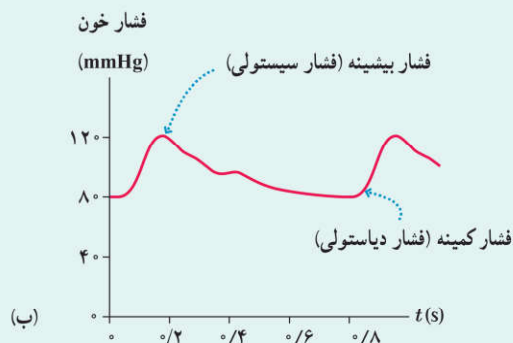
تمرین ۲-۴



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 ارتفاع کیسه نسبت به دست بیمار 12°cm باشد، فشار پیمانه‌ای این مایع در محل تزریق چند میلی‌متر جیوه است؟ چگالی محلول را 1050 kg/m^3 بگیرید.

خوب است بدانید

شکل الف فشارسنجی را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری فشار خون به کار می‌رود. با چندین بار فشردن مخزن پلاستیکی پراز هوا، فشار دست‌بند افزایش می‌یابد تا جریان خون در سرخرگ اصلی دست در بازو متوقف شود. سپس درجه مخزن باز شده، و شخص اندازه‌گیرنده با گوشی به صدای عبور خون از سرخرگ گوش می‌کند. وقتی فشاری که دست‌بند به سرخرگ اصلی دست وارد می‌کند در حال کاهش باشد، درست زمانی که فشار به زیر بیشینه فشار خونی که قلب تولید می‌کند (فشار سیستولی) فرو افتد، سرخرگ برای یک لحظه در هر ضربه قلب باز می‌شود. در این شرایط، جریان خون متلاطم، پُر سر و صدا و با تندی زیاد است و می‌توان آن را با گوشی شنید. فشارسنج طوری درجه‌بندی شده است که فشار را بر حسب mmHg نشان می‌دهد، و مقدار به دست آمده حدود 12°mmHg برای قلب معمولی است. با کاهش بیشتر فشار دست‌بند، صداهای متناوب هنوز شنیده می‌شود تا فشار به زیر فشار کمینه قلب (فشار دیاستولی) فرو افتد. در این وضعیت صداهای مداوم شنیده می‌شود. در قلب عادی، این گذار در فشاری حدود 8°mmHg رخ می‌دهد. فشار خون را معمولاً بر حسب نسبت فشار سیستولی به فشار دیاستولی بیان می‌کنند، که برای قلب سالم $120/80$ است.



۴-۲ 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 ۲-۲ الف). همچنین شناور ماندن کشتی‌های فولادی روی آب، پدیده‌ای آشناست با وجود آنکه می‌دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۲-۲ ب). افزون بر اینها، جابه‌جا کردن یک جسم سنگین غوطه‌ور داخل آب، خیلی آسان‌تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۲-۲ پ). همان‌طور که در

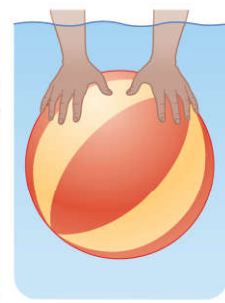
کتاب علوم سال هفتم دیدید وقتی چگالی جسمی بیشتر از چگالی آب باشد در آب فرو می رود و ته نشین می شود، درحالی که اگر چگالی جسم کمتر از چگالی آب باشد روی آب شناور می ماند. همچنین در حالتی که چگالی جسم و آب یکسان باشد جسم در آب به صورت غوطه ور در می آید. پیش از پرداختن به دلیل این پدیده ها، فعالیت زیر را انجام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



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۲-۸ (الف) وارد کردن توپ داخل آب، (ب) کشتیرانی در دریای خزر (بندر امیرآباد)، (پ) جابه جا کردن یک غواص غوطه ور با یک دست

این فعالیت نشان می دهد، چگالی ماده ای که یک جسم همگن از آن ساخته شده است، با چگالی آب مقایسه می شود. به همین دلیل است که کشتی ها روی آب شناور می مانند.



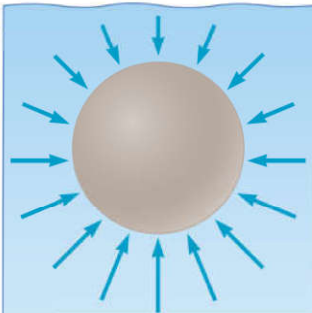
پوش برگ آلومینیومی



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 ۵ بار) 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.

الف) چون در فویل مجاله شده هوا نفوذ می کند، چگالی آن در کل کاهش یافته و روی آب شناور می شود. ب) در این حالت (فویل تاخوره) چگالی جسم حاصل شده تقریباً با چگالی آلومینیوم برابر و از آب بیستار بوده به همین دلیل در آب فرو می رود.

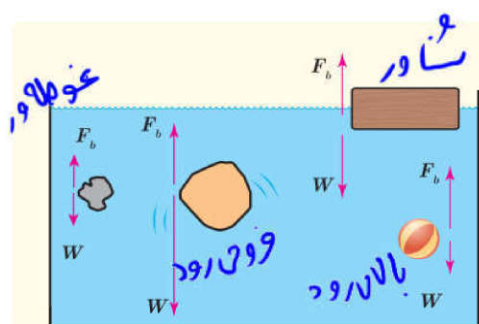


شکل ۲-۹ پیکان ها نشان می دهند که نیروهای ناشی از فشار وارده بر جسم، به دلیل افزایش عمق، در زیر آن بزرگ ترند.

ارشمیدس دانشمند یونانی دوران باستان، نخستین کسی بود که پی برد به جسم های درون یک شاره یا غوطه ور در آن، همواره نیروی بالاسوی خالصی به نام **نیروی شناوری** از طرف شاره وارد می شود. دلیل این نیرو برای جسمی غوطه ور درون شاره به طور کیفی در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است.

تعریف نیروی شناوری: وقتی که تمام یا قسمتی از یک جسم جامد در مایع قرار بگیرد، از طرف مایع یک نیروی خالص رو به بالا به جسم وارد می شود که با آن نیروی شناوری (F_b) می گویند.

دلیل وارد شدن نیروی شناوری: اختلاف فشار وارد بر سطوح مختلف جهات که به این بر سطوح با بیش تر فشار بزرگ تر وارد می شود.



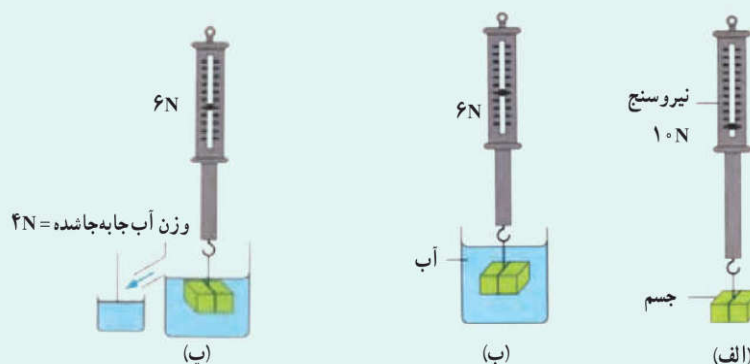
در شکل روبه‌رو، نیروی شناوری F_b و نیروی وزن W وارد بر چند جسم نشان داده شده است. با توجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه‌های شناوری، غوطه‌وری، فرورفتن و بالا رفتن توصیف کنید.

خوب است بدانید

اصل ارشمیدس

اصل ارشمیدس را به سادگی می‌توان به طور تجربی بررسی کرد. شکل الف یک جسم فلزی آویزان شده به یک نیروسنج فنری را نشان می‌دهد که وزن آن ۱ نیوتون است. وقتی این جسم مطابق شکل ب به طور کامل درون آب قرار می‌گیرد، نیروسنج فنری عدد ۶ نیوتون را نشان می‌دهد. در واقع این کاهش ۴ نیوتونی عددی که نیروسنج فنری نشان می‌دهد، ناشی از نیروی شناوری است که از طرف شماره به جسم وارد شده است.

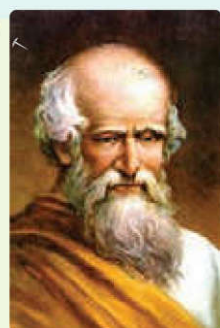
اگر ظرفی لوله‌دار مطابق شکل پ تهیه کنید به طوری که تا سطح لوله دارای آب باشد، با فرو کردن جسم درون آن، آب اضافی از طریق لوله به ظرف دیگری می‌ریزد. وزن آب خارج شده ۴ نیوتون است که دقیقاً برابر نیروی شناوری است که از طرف آب به جسم وارد می‌شود.



آزمایشی ساده برای تحقیق اصل ارشمیدس

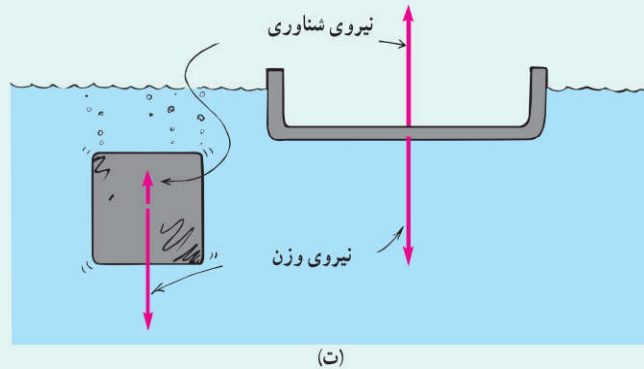
با توجه به آنچه دیدیم اصل ارشمیدس را می‌توان به صورت زیر بیان کرد :

وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شماره‌ای فرو رود، شماره نیرویی بالاسو بر آن وارد می‌کند که با وزن شماره جابه‌جا شده توسط جسم برابر است.

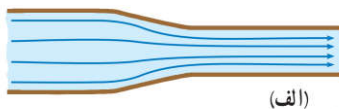


ارشمیدس (۲۸۷-۲۱۲ قبل از میلاد) از دانشمندان بزرگ دوران یونان باستان است. شهرت ارشمیدس، بیشتر برای کشف نیروی شناوری است. وی کتابی در مورد اجسام شناور دارد که در برگرفته نه قضیه است. ارشمیدس این قضایا را بر اساس خلف اثبات می‌کرد؛ یعنی ابتدا خلاف آنها را درست می‌پنداشت و آنگاه نشان می‌داد با توجه به شرایط، فرض او نادرست بوده است. همچنین ارشمیدس در روش خود برای حل مسائل، از آرمانی‌سازی و ساده‌سازی پدیده‌ها بهره می‌گرفت.

برای مثال با وجود آنکه جرم قطعه های آهنی در شکل (ت) با یکدیگر برابر است ولی نیروی بالاسو که از طرف شاره به آنها وارد می شود متفاوت است، زیرا همان طور که اشاره کردیم این نیرو با وزن شاره جابه جا شده توسط جسم برابر است.



۵-۲ شاره در حرکت و اصل برنولی



شکل ۲-۲۲ (الف) حرکت لایه ای شاره. نقش کلی جریان شاره، با گذر زمان تغییر نمی کند.
(ب) حرکت تلاطمی شاره. نقش کلی جریان شاره و مسیر حرکت ذرات آن، به طور مداوم تغییر می کند.

تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی شاره های ساکن پرداختیم. اکنون آماده ایم تا یک شاره در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شاره ای حرکت می کند، این حرکت می تواند یکنواخت و لایه ای (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 پراثر می وزد. **تلاطمی و آشوبناک** هنگام حرکت آب در شیلنگ، جریان تند و سریع آب در یک رودخانه (شکل ۲-۲۳-الف)، حرکت خون درون رگ ها، حرکت هوا درون سامانه های گرمایش و سرمایش، جریان دود در هوا (شکل ۲-۲۳-ب) پدیده های جالبی رخ می دهد. بررسی این پدیده ها اغلب می تواند بسیار پیچیده باشد. برای پرهیز از این پیچیدگی ها، مدل آرمانی و ساده شده ای از یک شاره در حال حرکت و بدون تلاطم را بررسی می کنیم. در شاره بدون تلاطم، حرکت شاره پایاست (یعنی سرعت در هر نقطه از شاره با گذشت زمان ثابت است). افزون بر این فرض می کنیم شاره تراکم ناپذیر است (یعنی، چگالی آن ثابت است) و اصطکاک داخلی (گرانروی) ندارد.



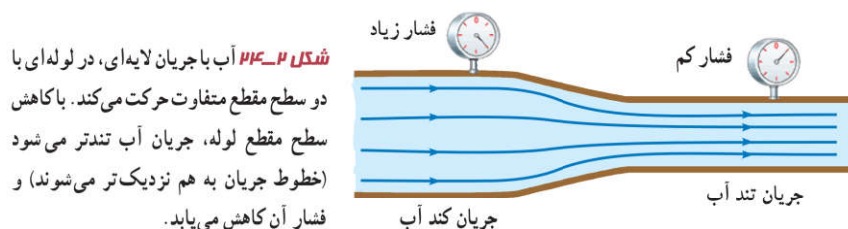
شکل ۲-۲۳ (الف) پل زمان خان (شهر سامان، استان چهارمحال و بختیاری) هنگام عبور آب از مجاری زیر پل. جریان آب در برخی نواحی آشوبناک می شود.

(ب) جریان لایه ای و تلاطم دود. جریان دود از سر جوب غود، در ابتدا لایه ای است و سپس در بالا متلاطم می شود.

۱- معمولاً از واژه گرانروی (ویسکوزیته) برای اشاره به اصطکاک داخلی در شاره ها استفاده می شود. همچنین در بررسی های

دقیق تر، غیرچرخی بودن شارش نیز در نظر گرفته می شود.

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.



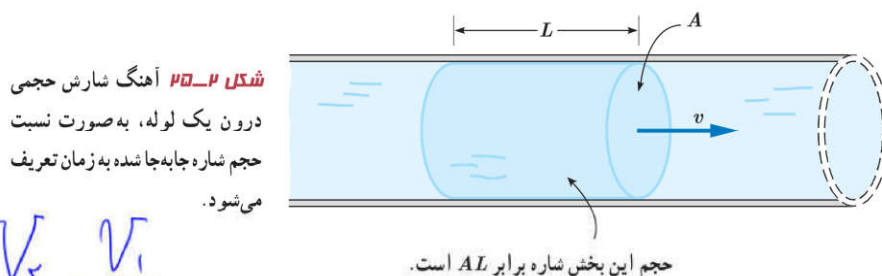
شکل ۲-۲۴ آب با جریان لایه‌ای، در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت حرکت می‌کند. با کاهش سطح مقطع لوله، جریان آب تندتر می‌شود (خطوط جریان به هم نزدیک‌تر می‌شوند) و فشار آن کاهش می‌یابد.

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 نتیجه نه تنها برای مایع‌ها، بلکه برای گازها نیز برقرار است. بیان ساده‌ی اصل برنولی برای شاره‌ای که به طور لایه‌ای و در امتداد افقی حرکت می‌کند به صورت زیر است:

اصل برنولی

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

آهنگ شارش حجمی شاره: شکل ۲-۲۵ جریان یکنواخت شاره‌ای 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 شاره جابه‌جا شده به زمان تعریف می‌شود.

حجم این بخش شاره برابر AL است.



دانیل برنولی (۱۷۸۲-۱۷۶۰) 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.



@mrgrezaee

@mrphysic123

مات مقطع

حجم عبور از یک مقطع

$$\frac{V_2}{t_2} = \frac{V_1}{t_1}$$

آهنگ شارش
آهنگ شارش
آهنگ شارش

$$V = \frac{V}{t} = Av = \text{تندی}$$

لحظه زمان عبور حجم

تندی حرکت شاره

$$A_2 v_2 = A_1 v_1$$

توجه کنید که نسبت مسافت به زمان ($L/\Delta t$) در حرکت یکنواخت شار، برابر تندی شار (v) است.

معادله پیوستگی: شکل ۲-۲۶ شارهای با جریان لایه ای را نشان می دهد که در لوله ای با دو



سطح مقطع متفاوت، در حرکت است. در حالت پایا و در مدت زمان یکسان، جرم یکسانی از شار،

از هر سطح مقطع دلخواه لوله می گذرد.



شکل ۲-۲۷ در حالت پایا، جرم شارهای که در بازه زمانی Δt از سطح مقطع A_1 می گذرد درست برابر جرم شارهای است که در همین بازه زمانی از سطح مقطع A_2 می گذرد.

از این موضوع، به سادگی می توان به **معادله پیوستگی** برای شار تراکم ناپذیر دست یافت که به

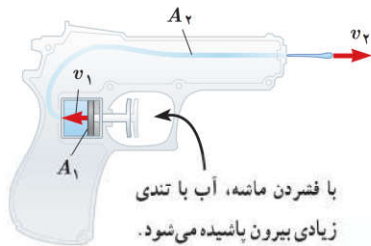
صورت زیر بیان می شود:

معادله پیوستگی

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

(۲-۶)

مثال ۲-۲



شکل روبه رو یک تفنگ آب پاش را نشان می دهد که با فشردن ماشه آن، آب با تندی زیادی بیرون می آید.

اگر $A_1 = 2.0 \text{ cm}^2$ ، $A_2 = 0.1 \text{ mm}^2$ و $v_1 = 0.3 \text{ cm/s}$ باشد تندی خروج آب را به دست آورید.

$$A_2 v_2 = A_1 v_1$$

$$0.1 \times 10^{-4} \times v_2 = 2 \times 10^{-2} \times 0.3$$

$$\rightarrow v_2 = \frac{2 \times 3 \times 10^{-2}}{10^{-4}} = 600 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

پوشش ۲-۲



سطح مقطع بیشتر

سطح مقطع کمتر

وقتی شیر آبی را کمی باز کنید و آب به آرامی جریان یابد، مشاهده می شود که باریکه آب با نزدیک تر شدن به زمین، باریک تر می شود (شکل روبه رو). دلیل این پدیده را با توجه به معادله پیوستگی توضیح دهید.

بارش آب به سمت پایین، تندتر و باریک تر می شود
باریک شدن معادله پیوستگی (بات $A_2 < A_1$) حالت قطره ها
ناهنجاری یافتن آب باریک تر شود

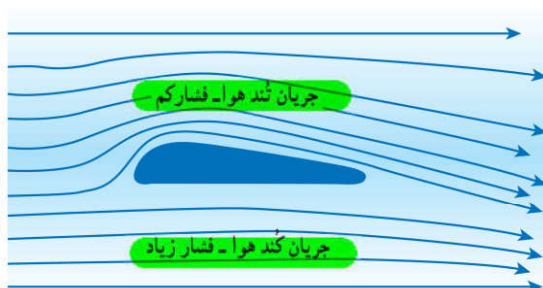
کاربردهایی از اصل برنولی: از بررسی نیروی بالابر وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کات‌دار توپ فوتبال و افشانه‌عطر، از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۲-۲۷ آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که در علوم ششم با آن آشنا شدید. وقتی یک ورق کاغذ را جلو دهانتان می‌گیرید و در سطح بالای آن می‌دمید، کاغذ به طرف بالا حرکت می‌کند. دلیل این پدیده را با توجه به اصل برنولی می‌توان به سادگی توضیح داد.



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 هواپیما وارد می‌شود.^۱



شکل ۲-۲۸: کاربرد اصل برنولی در بال هواپیما برای ایجاد نیروی رو به بالا.

پوشش ۲-۸

پوشش برزنتی صاف و تخت است.

کامیون در حال توقف



با وزش باد، تندی حرکت هوا در بالای آب بیشتر شده و طبق اصل برنولی فشار کاهشی یافت و امواج می‌توانستند با ارتفاع بالا تر برسند.

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، هوا در بالای پوشش برزنتی تندی بیشتری نسبت به هوای درون آن داشته و بر طبق اصل برنولی

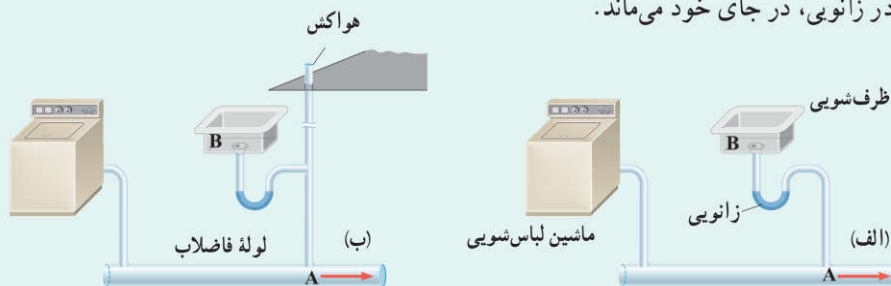
۱- در واقع این نیروی روبه بالا که براساس اصل برنولی ایجاد می‌شود، بخش کوچکی از نیروی بالابر هواپیما را تأمین می‌کند. بخش عمده نیروی بالابر وارد بر هواپیما، منشأ دیگری

دارد که موضوع بحث این کتاب نیست.

فشار وارد بر پوشش از بیرون کمتر و یا به عبارتی از داخل بیشتر بوده و باعث پُف کردن آن می‌شود.

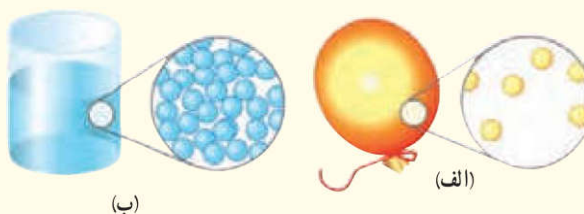
یک مثال عملی از کاربرد اصل برنولی در لوله کشی ساختمان، در شکل زیر نشان داده شده است. ابتدا فرض کنید لوله هواکش در نظر گرفته نشده باشد (شکل الف). جمع شدن آب در زانویی زیر ظرف شویی، مشابه یک درپوش عمل می کند. این درپوش، مانع از آن می شود که گاز تولید شده در لوله فاضلاب، از خروجی چاهک ظرف شویی بالا آمده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

با اضافه کردن لوله هواکش، که با هوای بیرون ساختمان مرتبط است، این مشکل رفع می شود (شکل ب). زیرا وقتی آب ماشین لباس شویی در لوله فاضلاب تخلیه می شود، کاهش فشار در لوله سبب می شود 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 می دارد، به طوری که آب جمع شده در زانویی، در جای خود می ماند.



۲-۱ حالت‌های ماده

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

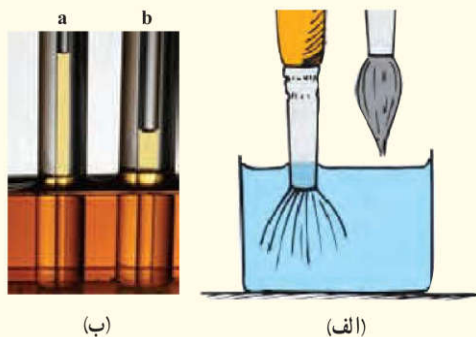


۲-۲ نیروهای بین مولکولی

۵ شیشه‌گران 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)، موه‌های آن به هم می‌چسبند. (اشاره: به پدیده کشش سطحی در مایع‌ها توجه کنید).

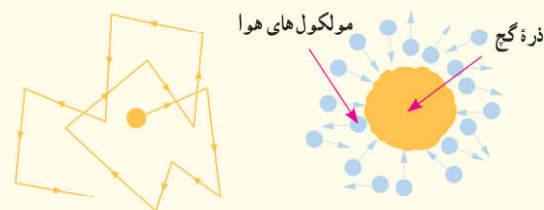
ب) شکل (ب) دو لوله موئین هم‌جنس را نشان می‌دهد که درون مایعی قرار دارند. چرا ارتفاع مایع درون لوله b از لوله دیگر کمتر است؟ با توجه به شکل، نیروی هم‌چسبی مایع را با نیروی دگرچسبی مایع و لوله‌های موئین مقایسه کنید.



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 به‌طور نامنظم در هوای اطراف پراکنده شده و حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم ذرات گچ، مطابق شکل زیر مدل‌سازی شده است.



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 به‌صورت قطره‌های ریز به طرف بالا می‌پاشند؟

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، شاهدهی بر وجود مولکول‌های هواست.

۳- حرکت مولکول‌ها را هوا با هم تعداد و هم تندی آن‌ها زیاد است و بر خود این مولکول‌ها با ذرات گچ، باعث پراکنده شدن و حرکت نامنظم ذرات گچ می‌شود.
ب، اینکه مدتی طولانی که ذرات گچ به زمین برسند، نشانگر وجود مولکول‌ها را هوا است، چرا که اگر مولکول‌ها را هوا و بر خود و به نوعی مقاومت آن‌ها در مقابل ذرات گچ وجود نداشت، این ذرات خیلی سریع به سطح می‌رسیدند.

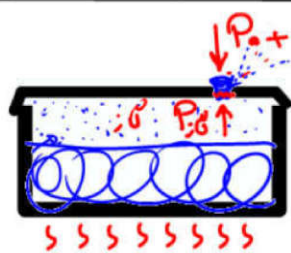
۴- با توضیحات کتاب مراجعه شود.
ب، به دلیل خاصیت تراوایی در سطح بادکنک، مولکول‌ها را درون بادکنک، به تدریج و در مدت زمان نسبتاً طولانی از آن خارج می‌شوند.

۵- چون نیروها را بر مولکول کوتاه برداشته، یعنی در فاصله‌ها را خیلی کم از مرتبه چند آنکستروم عمل می‌کند، بر این‌که فاصله آن‌ها در سطح تماس به اندازه کافی کم می‌شود، باعث می‌شود که نیروهای انرژس به درون می‌شود و باعث افزایش جنبشی مولکول‌ها می‌شود، تا در سطح تماس، نیروی بر مولکول برقرار گردد.

۶- وقتی قلم مو را بیرون می‌آوریم، یک لایه آب روی موها را می‌ماند و وجود خواهد داشت که نیروی هم‌چسبی بر مولکول‌ها را آب، باعث چسبیدن موها را قلم مو به هم می‌شود.
ب، پدیده موینگی در لوله‌ها را باریکتر باشد بیشتر اتفاق می‌افتد و در این مثال چون دگر چسبی بر مولکول‌ها را می‌ماند و سطح لوله از هم چسبی بر مولکول‌ها را می‌ماند بیشتر، می‌ماند در لوله بالایی رود و در لوله باریکتر، بالاتر.

۷- زیرا نیروی بین مولکول‌ها را زیر گرد ها خیلی ناچیز و ضعیفات. اما نیروی بر مولکول‌ها را آب به نسبت قابل توجه و قوی می‌باشد.
ب) ---

۸- بزرگ و قوی بودن نیروی هم‌چسبی بر مولکول‌ها را آب باعث این اتفاق می‌شود.



$$P_{in} = P_{out}$$

$$P_{air} = P_0 + \frac{mg}{A}$$

$$2 \times 10^5 = 1 \times 10^5 + \frac{m \times 10}{4 \times 10^{-4}}$$

۹- سؤال باید atm بر حسب P_a را
محض کن که البته توان از من ها داده می‌شود!
فرض کنیم $1 atm = 10^5 P_a$
 $g = 10 \frac{N}{kg}$

$$\rightarrow \frac{m \times 10^5}{4} = 10^5 \rightarrow m = 0.4 kg = 400 g$$

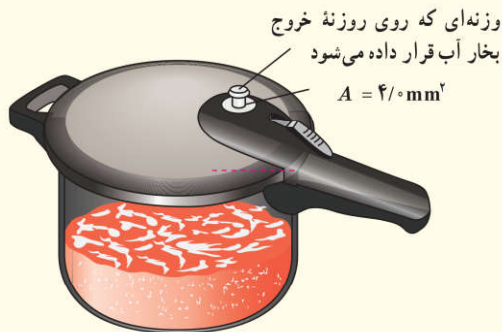


@mrgrzaee
@mrphysic123

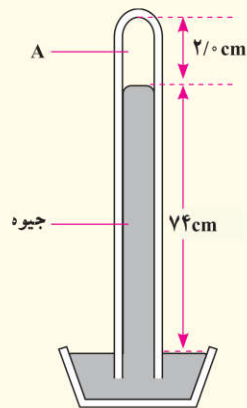
ب) بررسی کنید برای مقابله با این پدیده و مهار آن، چه تدابیری را می‌توان اندیشید.

۲-۲ فشار در شاره‌ها

۱) 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.



۸) نوعی ماهی به نام ماهی کمان‌گیر^۱ با جمع کردن آب در دهان خود و پرتاب آن به سوی حشراتی که در بیرون از آب، روی گیاهان نشسته‌اند، آنها را شکار می‌کند و می‌خورد. 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؟

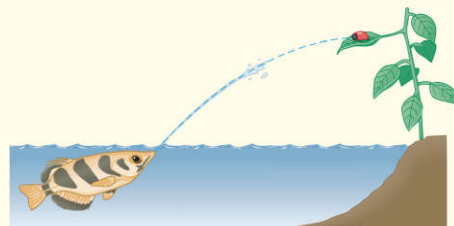


الف) در ناحیه A چه چیزی وجود دارد؟

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.



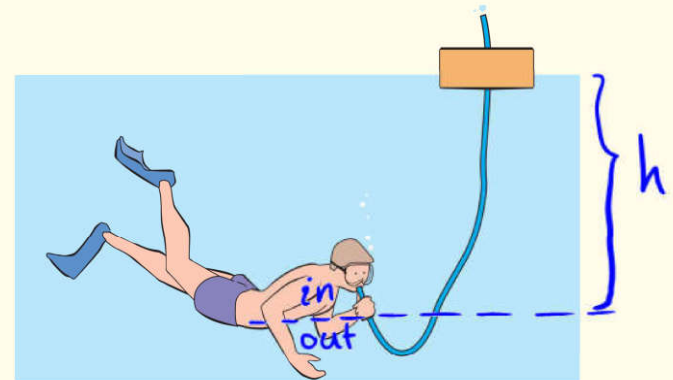
۱- Archerfish

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

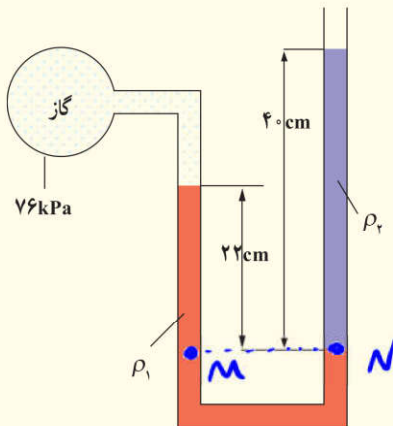
فریدن شهر: ۲۶۱۲m سمیرم: ۲۴۳۴m
 بروجن: ۲۲۶۵m شهرکرد: ۲۰۷۲m
 با توجه به نمودار شکل ۲-۱۶، فشار تقریبی هوا را در این چهار شهر بنویسید.

ب) چگالی متوسط هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود 1.2 kg/m^3 است. فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.

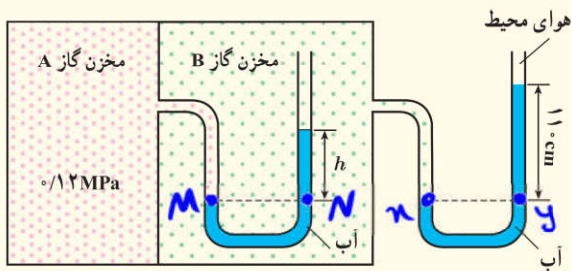
۱۲ غواص‌ها می‌توانند با قرار دادن یک سرلوله‌ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، تا عمق بیشینه‌ای در آب فرو روند و نفس بکشند (شکل زیر). با گذشتن از این عمق، اختلاف فشار درون و بیرون ریه غواص افزایش می‌یابد و غواص را ناراحت می‌کند. چون هوای درون ریه از طریق لوله با هوای بیرون ارتباط 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 ۶/۱۵m 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.)



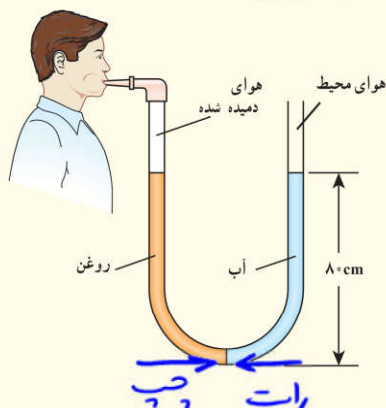
۱۳ درون لوله U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه ($\rho_1 = 13600 \text{ kg/m}^3$) و مایعی با چگالی نامعلوم ρ_2 وجود دارد (شکل زیر). اگر فشار هوای بیرون لوله U شکل 1.0 kPa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



۱۴ در شکل زیر مقدار h چند سانتی متر است؟ فشار هوای محیط را 1.0 kPa و چگالی آب را 1000 kg/m^3 بگیرید.



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



۱۰- الف، بخار جیوه که فشار آن ناچیز است.

ب، فشار هوا در محیط اطراف.

پ، در این محیط $P_0 = 74 \text{ cmHg}$ که اگر بخواهیم بر حسب پاسکال بیان کنیم باید از رابطه ρgh استفاده کرد، و مثلاً باید چگالی جیوه و مقدار g را به ما بدهد.

ت، کاهشی رویابد، چون فشار هوا در اطراف ظرف در ارتفاعات بالاتر، کمتر خواهد شد.

۱۱- جواب سؤال: $P_{out} - P_{in} = ?$

$$P_{out} = P_0 + \rho gh$$

$$P_{in} = P_0$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{out} = P_0 + \rho gh \\ P_{in} = P_0 \end{array} \right\} \rightarrow P_{out} - P_{in} = \rho gh = 1000 \times 10 \times 4.15 = 41500 \text{ Pa}$$

* این عدد نشان ردهد نفس کشیدن در این عمق کار سخت است!

$$P_m = P_n$$

۱۳- به شکل سؤال ۱۳ در این فایل دقت کنید!

$$P_{B'} + \rho gh = P_0 + \rho gh \rightarrow 74000 + 13400 \times 10 \times 0.22 = 101000 + \rho \times 10 \times 0.4$$

$$\rightarrow \rho = 74000 + 29680 - 101000 \rightarrow \rho = \frac{22680}{4} \rightarrow \rho = 5670 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_m = P_n \rightarrow P_{A'} = P_{B'} + \rho gh$$

۱۴- به شکل سؤال ۱۴ در این فایل دقت کنید!

$$\rightarrow 120000 = 112000 + 1000 \times 10 \times h \rightarrow h = 0.8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$$

$$P_x = P_y \rightarrow P_{B'} = P_0 + \rho gh \rightarrow P_{B'} = 101000 + 1000 \times 10 \times 1.1 = 112000 \text{ Pa}^*$$

۱۵- به شکل سؤال ۱۵ در این فایل دقت کنید!

$$P_{B'} = P_0 + \rho gh$$

۱۵- به شکل سؤال ۱۵ در این فایل دقت کنید!

$$P_{B'} = P_{atm} \rightarrow P_{B'} + \rho gh = P_0 + \rho gh$$

$$\rightarrow P_{B'} - P_0 = 1000 \times 10 \times 0.8 - 1050 \times 10 \times 0.8 = 1540 \text{ Pa}$$



(ب)

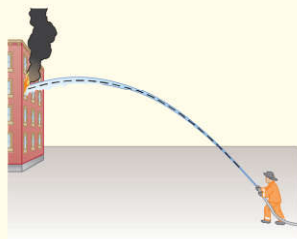
با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریه شخصی که از شاخه سمت چپ لوله درون آن دمیده، چقدر است؟ چگالی روغن را 805 kg/m^3 بگیرید.

۴-۲ شناوری

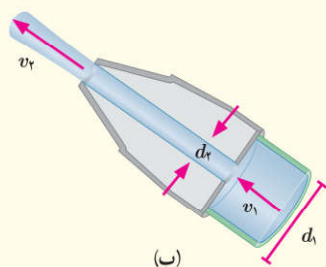
۱۶ توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد رو به بالاست.

۵-۲ شاره در حرکت و اصل برنولی

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.



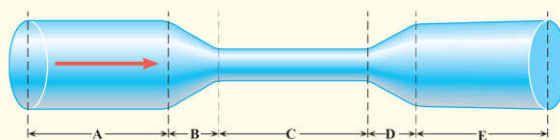
(الف)



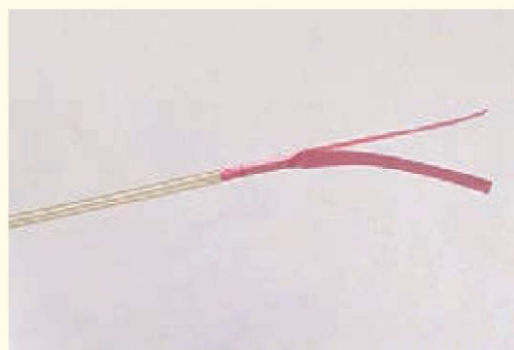
(ب)

۱۷ در لوله‌ای پر از آب مطابق شکل زیر، آب از چپ به راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (A، B، C، D و E) نشان 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 10 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)

۱۶- وقتی جسم جامدی در یک مایع قرار گیرد، سطوح مختلف جسم در عمق‌های متفاوتی قرار می‌گیرند و فشار وارد بر آن‌ها متفاوت خواهد شد و چون فشار در عمق‌های بیشتر (پایین‌تر) بزرگ‌تر باشد در نتیجه نیروهای که به سطوح پایین وارد می‌شود بزرگ‌تر بوده و در کل باعث وارد شدن یک نیروی خالص رو به بالا (نیروی شناوری) به جسم می‌شود.

۱۷- طبق معادله پیوستگی (ثابت Av)، تندی حرکت شاره با مساحت مقطع عبوری رابطه عکس دارد.

تأهلی: v در مقطع D ازایش: v در مقطع B ثابت v در مقطع‌های A، C و E دالف مساحت ثابت

اب $A_A = A_E > A_C \xrightarrow{\text{یکسان } Av} v_A = v_E < v_C$

۱۸- وقتی درین دمیده می‌شود هوای سریع ورقه‌ها حرکت زده و تندی آن نسبت به هوای طرفین ورقه‌ها بیشتر خواهد شد. طبق اصل برنولی تندی بیشتر باعث فشار کمتر می‌شود یا با عبارت فشار هوا با طرفین ورقه‌ها بیشتر شده و آن‌ها را با هم نزدیک می‌کند.

$A_1 v_1 = A_2 v_2$

۱۹

$\rightarrow \pi r_2^2 \times v_2 = \pi r_1^2 \times v_1 \rightarrow (1.25)^2 \times v_2 = (4.8)^2 \times 1.5 \rightarrow v_2 = 22.12 \frac{m}{s}$

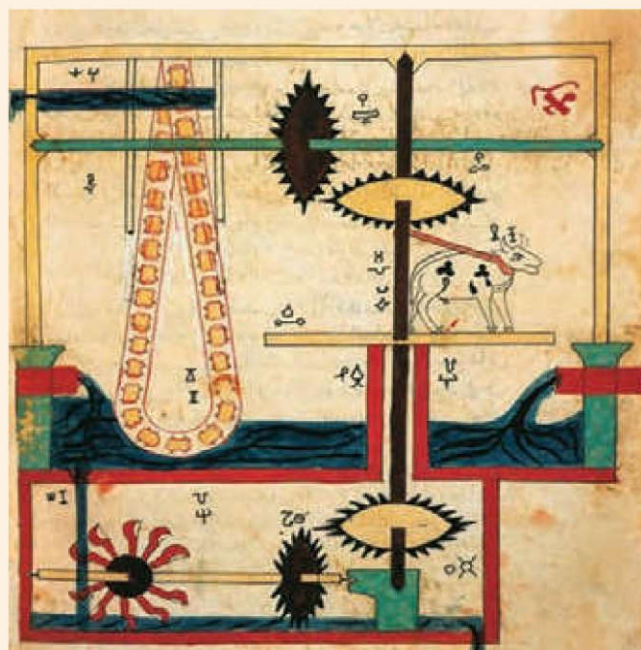
✱ هر چند که خیلی از سوالات روستی شد حرفه‌ای‌تر و قوی‌تر هم حل کرد ...
اما بماند، باید مدل امتحان نهایی حل کنیم!



اسماعیل جَزَری

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 در گذشته 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 چارپا 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 قطاعی وارد می شود. البته مهندسان آن دوره روش ترسیم سه بعدی 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.



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. بخواهید و استراحت کنید؛ مشاهده کنید و بیندیشید؛ پرخیزید 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 پایداری انرژی مکانیکی را بررسی می‌کنیم. سرانجام با توان، به عنوان کمیتی برای بیان آهنگ انجام کار آشنا می‌شویم.

* انرژی جنبشی یک کمیت عددی (زده ای) بوده و جهت بردار سرعت (حرکت) $K \propto m$ $K \propto v^2$ این نوع انرژی برای جرم به جنبشی یا تحریک دارد تعریف می شود.

انرژی جنبشی K → یکی SI (J) جول
یک انرژی جنبشی $\rightarrow \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ اصل

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

۱-۳ انرژی جنبشی

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:

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



* می توان ثابت یکی اضافه انرژی ها (انرژی پتانسیل، الکتریکی، جنبشی و...) بر حسب یکای اصلی برابر با $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ می شود.

یکاهای SI جرم و تندی به ترتیب کیلوگرم (kg) و متر بر ثانیه (m/s) است. بنابراین، یکای SI انرژی جنبشی (و هر نوع دیگری از انرژی) $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ است که به افتخار جیمز ژول، فیزیک دان انگلیسی، ژول (J) نامیده می شود. انرژی جنبشی کمیتی زده ای و همواره مثبت است؛ این کمیت تنها به جرم و

تندی جسم بستگی دارد و به جهت حرکت جسم وابسته نیست. **الته تغییرات انرژی جنبشی (۵۴)**
در یک جا به جایی و نقطه متوقف باشد و این یعنی در آن جا به جایی، انرژی جنبشی جسم کاهش یافته است.

جرم خودرویی به همراه راننده اش 840 kg است. این خودرو با تندی 54 km/h در حرکت است، انرژی جنبشی آن چند ژول است؟

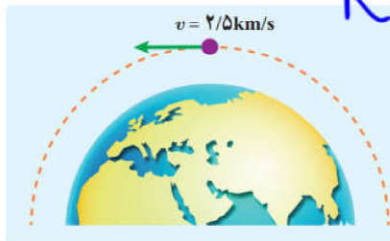
مثال ۱-۳

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 840 \times 15^2 = \dots \text{ J}$$

$$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} \div 3.6 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$K = 787.5 \text{ MJ}$$

تمرین ۱-۳



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

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \quad \rightarrow K = \frac{1}{2} \times 220 \times 2500$$

$$v = 2.5 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 2500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad K = 787500000 \text{ J}$$

تمرین ۲-۳

جرم خودرویی به همراه راننده اش 840 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.



$v_1 = 18 \text{ m/s}$



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

$$\Delta K = K_2 - K_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times 840 \times (25^2 - 18^2) = 14420 \text{ J}$$

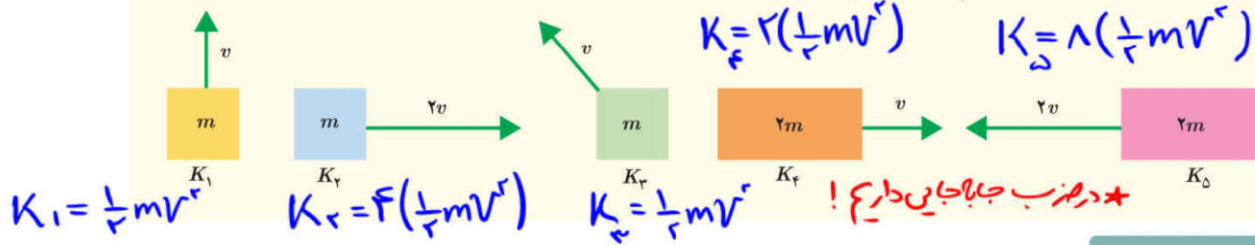
۵۴

$$K = \frac{1}{2}(M)(v)^2$$

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

پرسش ۱-۳

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



خوب است بدانید



لایب‌نیتس (۱۷۱۶-۱۶۴۶م)

لایب نیتس فیلسوف و ریاضی دان آلمانی نخستین دانشمندی بود که به اهمیت انرژی جنبشی در فیزیک پی برد. لایب نیتس استدلال می کرد که در طبیعت حاصل ضرب جرم در مربع تندی پایسته است. وی نام این مفهوم جدید را نیروی زنده نامید.
سال ها پیش از لایب نیتس، رنه دکارت (۱۶۵۰-۱۵۹۶م)، فیلسوف، ریاضی دان و فیزیک دان فرانسوی ادعا کرده بود حاصل ضرب جرم در سرعت که امروزه تکانه نامیده می شود، در طبیعت کمیتی پایسته است.

معرفی واژه انرژی به جای اصطلاح نیروی زنده را به توماس یانگ (۱۸۲۹-۱۷۷۳م) فیزیک دان انگلیسی نسبت داده اند، هر چند از اصطلاح جدید وی در ابتدا چندان استقبال نشد. او در کتابی که در سال ۱۸۰۷ میلادی به چاپ رساند، پیشنهاد کرد که به منظور تمایز بهتر میان مفاهیم نیرو و انرژی، به جای نیروی زنده از واژه انرژی استفاده شود. در سال ۱۸۶۷ میلادی، لُرد کیلین و پیتربیت دو فیزیک دان اسکاتلندی در جلد اول رساله فلسفه طبیعی، اصطلاح امروزی انرژی جنبشی را برای انرژی جسم در حال حرکت به کار بردند و ضریب یک دوم را هم که لایب نیتس در نظر نگرفته بود، وارد کردند.

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 جابه جایی جسم در یک جهت باشد (شکل ۲-۳)، به صورت رابطه زیر آشنا شدید:



شکل ۲-۳ نیروی ثابت $\vec{F}$ که با جابه جایی $\vec{d}$ هم جهت است، کار $W = Fd$ را انجام می دهد.

جسم در جهت نیرو، به اندازه d جابه جا شده است.

$$W = Fd$$

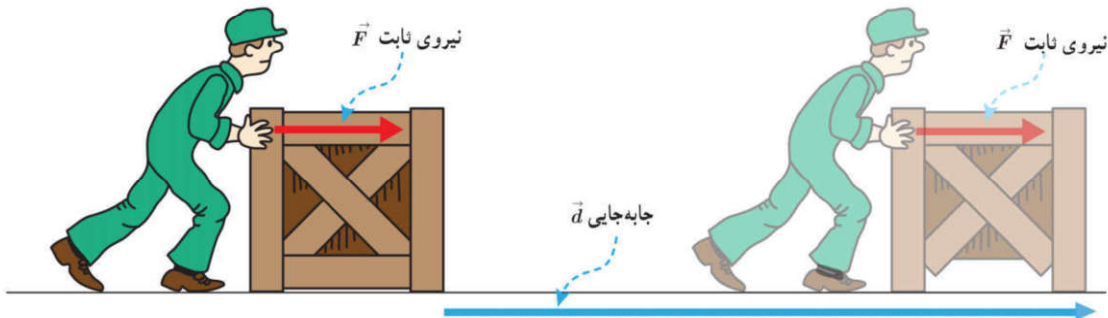
(۲-۳)

در این رابطه W اندازه نیروی وارد بر جسم و d اندازه جابه جایی آن است. کار، همان یکای انرژی

را دارد و کمیتی 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 از هرگونه چرخش یا تغییر شکل جسم صرف نظر کرد.

مثال ۳-۲ حذف

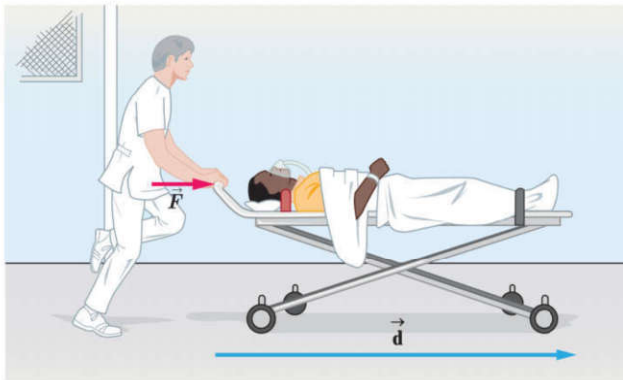
شکل زیر کارگری را در حال هل دادن جعبه ای با نیروی ثابت 250 N نشان می دهد. اگر جعبه 14 m در امتداد نیرو جابه جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟



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

$$W = Fd = (250\text{ N})(14\text{ m}) = 3.5 \times 10^3\text{ J}$$

مثال ۳-۳



بیماری به جرم 72 kg روی تختی به جرم 15 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 m/s^2 حرکت می کند.

الف) اندازه نیروی $\vec{F}$ چقدر است؟

ب) اگر تخت 1.0 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 kg است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

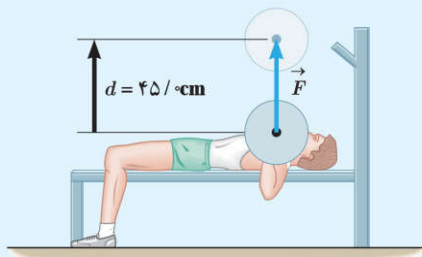
$$F = ma = (87\text{ kg})(0.60\text{ m/s}^2) = 52\text{ N}$$

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

$$W = Fd = (52\text{ N})(1.0\text{ m}) = 52\text{ J}$$

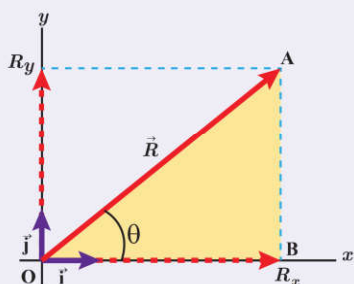
حالت سوال: $W_f = Fdcos\theta$ $\rightarrow W_f = 450 \times 0.45 \times 1 = 202.5 \text{ J}$
 چون حرکت یکنواخت $F = mg = 250 \text{ N}$

تمرین ۳-۳



ورزشکاری وزنه‌ای به جرم ۴۵kg را به طور یکنواخت، ۴۵cm بالای سر خود می‌برد (شکل روبه‌رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازه شتاب گرانش زمین را $g = 10 \text{ N/kg}$ بگیرید.

معلم $\leftarrow$ مفهومی مبت بر کار یک نیروی است که آن نیرو با کاری که انجام می‌دهد و خواهد بود که یک کد یا با عبارتی باعث افزایش حرکت و جنبشی جسم شود.



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 یکواحد $\vec{i}$ و $\vec{j}$ آشنا شدید (شکل روبه‌رو).

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 دهم دیدید که در یک مثلث قائم الزاویه، مانند مثلث OAB در شکل بالا، توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس را برای زاویه‌ای مانند θ به صورت زیر تعریف می‌کنند:

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

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

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

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

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

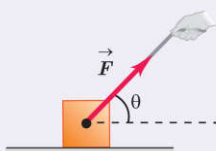
با جایگذاری رابطه‌های (۳) در رابطه (۱) می‌توان یک بردار را بر حسب توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس نوشت. به این ترتیب داریم:

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

برای مثال وقتی جسمی را مطابق شکل روبه‌رو 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 F اندازه نیروی $\vec{F}$ است.

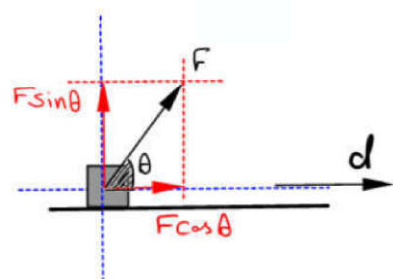
مقادیر سینوس و کسینوس به ازای چند زاویه پرکاربرد

θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$
0°	۰	۱
30°	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
90°	۱	۰
180°	۰	-۱



کیت کار (W) برای یک نیرو در یک جابه جایی تعریف می شود. باید دقت داشت، مؤلفه ای از نیرو که در راستای جابه جایی باشد ($F \cos \theta$) در انجام کار مؤثر است.

همان طور که تا اینجا دیدید، تعریف کار بر اساس رابطه ۳-۲ تنها برای حل مسئله هایی به کار می رود که نیرو و جابه جایی در یک جهت باشند. اگر مطابق شکل ۳-۳ نیرو وارد شده به جسم با جابه جایی زاویه θ بسازد، در این حالت نیروی $\vec{F}$ دارای دو مؤلفه است؛ یکی موازی با جابه جایی و دیگری عمود بر آن. همان طور که از علوم هفتم نیز به یاد دارید، مؤلفه ای از نیرو که بر جابه جایی عمود است (F_y) کاری روی جسم انجام نمی دهد. کار انجام شده روی جسم تنها ناشی از مؤلفه ای از نیرو است که در راستای جابه جایی است (F_x). در این حالت، کاری که نیروی ثابت $\vec{F}$ به ازای جابه جایی $\vec{d}$ روی جسم انجام می دهد از رابطه زیر به دست می آید:



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

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

$$N \cdot m = J = kg \frac{m^2}{s^2} \quad (3-3)$$

کیت کار هم از جنس انرژی می باشد.

رابطه ای جامع تر برای محاسبه کار یک نیروی ثابت



کار، نیروی F (J)

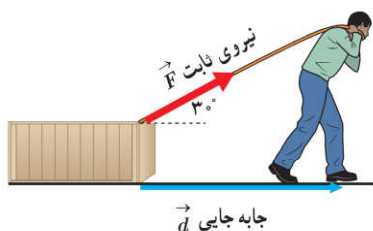
$$W_F = F d \cos \theta$$

اندازه جابه جایی (m)
اندازه نیرو (N)

شکل ۳-۳ نیروی ثابت $\vec{F}$ با جابه جایی $\vec{d}$ زاویه θ می سازد و کار $W = (F \cos \theta) d$ را روی جسم انجام می دهد.

زاویه بین بردار نیرو و جابه جایی

مثال ۳-۴

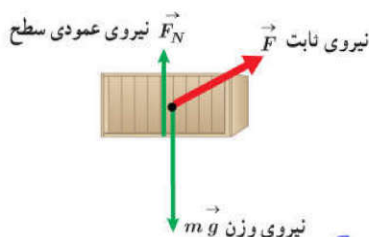


شکل روبه رو شخصی را نشان می دهد که جعبه ای را با نیروی ثابت 200 N روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز، به اندازه 10 m جابه جا می کند.

الف) کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟

ب) نیروهای دیگری را که بر جسم وارد می شود مشخص کنید. کاری را که

هر کدام از این نیروها روی جسم انجام می دهند حساب کنید.



الف $W_F = F d \cos 30^\circ = 200 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1000 \sqrt{3} \text{ J}$

ب $W_{F_N} = F_N d \cos 90^\circ = 0$

$W_{mg} = mg d \cos 90^\circ = 0$

* کار نیروهای که در یک جابه جایی به مسیر حرکت خود باشند، صاف است. معمولاً کار نیروی F_N صاف است، مگر اینکه جابه جایی در راستای قائم باشد، مثل حرکت در آسانسور یا حرکت جسمی به دایره در دایره.

۱- بررسی تجزیه نیرو از اهداف این فصل نیست، بلکه تنها تأکید روی این موضوع است که فقط مؤلفه ای از نیرو که در امتداد جابه جایی است کار انجام می دهد. بنابراین در

ارزشیابی این درس، تجزیه نیروها مورد نظر نیست.

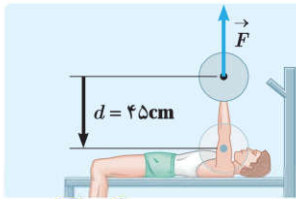
بالا یا پایین جابه جایی

* اگر مسیر جابه جایی در راستای سطح ریزه باشد (افقی)، کار نیروی وزن

صفر می شود. در غیر این صورت در جابه جایی های دیگر، نیروی وزن کار انجام می دهد.

حواشی سؤال $W_F = Fd \cos 18^\circ$ $\rightarrow W_F = 450 \times 0.45 \times (-1) = -202.5 \text{ J}$
 $F = mg = 450 \text{ N}$ $\rightarrow$ مثلث متساوی الساقین

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 روبه‌رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

مهم $\leftarrow$ حفظ کردن کار یک نیرو این است که آن نیرو با کار که انجام شده در حواشی مانع از حرکت شده و جنبشی را کاهش دهد.

پرسش ۲-۳

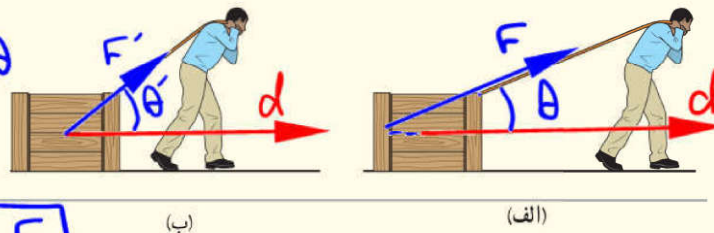
شخصی جسمی را یک بار با طنابی بلند (شکل الف) و بار دیگر با طنابی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطحی هموار می‌کشد. اگر جابه‌جایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، ناچیز فرض کنید.

$$W_{F'} = W_F$$

$$F'd \cos \theta' = Fd \cos \theta$$

$$F' \cos \theta' = F \cos \theta$$

$$\frac{\theta' > \theta}{\cos \theta' < \cos \theta} \rightarrow \boxed{F' > F}$$



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 تک‌تک نیروها کار کل (W_t) را می‌یابیم. می‌توان نشان داد کار کل انجام شده روی جسم با کار نیروی خالص وارد بر جسم، برابر است.

$$W_t = \begin{cases} W_{F_1} + W_{F_2} + W_{F_3} + \dots \\ W_{F_t} \end{cases}$$

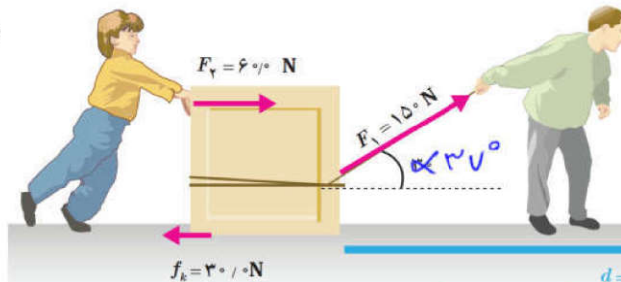
جمع کار تک‌تک نیروها $\rightarrow$ کار نیروی برآیند

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 ($\cos 37^\circ = 0.8$)

دقت بفرمایید
اعداد مثبت
را در شکل تغییر
داده‌ام.

@mrgrezaee
@mrphysic123



(نست) (ماده دوم)

$$F_t \cos 37^\circ = 120 \text{ N}$$

$$f_k = 30 \text{ N}$$

$$F_t = 150 \text{ N}$$

$$F_1 = 60 \text{ N}$$

$$W_t = W_{F_t} = F_t d \cos 0^\circ = 150 \times 10 \times 1 = 1500 \text{ J}$$

(سریع)

جواب: $W_t = W_{F_1} + W_{F_2} + W_{f_k} + \cancel{W_{F_N}} + \cancel{W_g}$

$$W_{F_1} = F_1 d \cos 37^\circ = 60 \times 10 \times 0.8 = 480 \text{ J}$$

$$W_{F_2} = F_2 d \cos 0^\circ = 10 \times 10 \times 1 = 100 \text{ J}$$

$$W_{f_k} = f_k d \cos 180^\circ = 30 \times 10 \times (-1) = -300 \text{ J}$$

$$W_t = 480 + 100 - 300 = 280 \text{ J}$$

پاسخ:

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه کار نیروی F_1 ، اطلاعات داده شده و $\cos \theta = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$ را در رابطه ۳-۳ جایگذاری می‌کنیم. به این ترتیب داریم:

$$W_1 = (F_1 \cos \theta) d = (150 \text{ N} \times \sqrt{3}/2)(10 \text{ m}) = 1300 \text{ J}$$

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

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

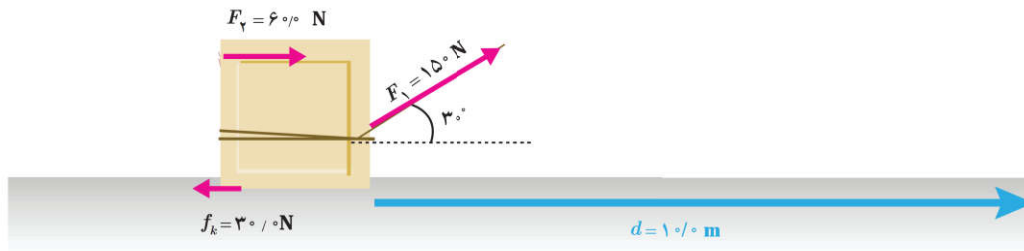
برای محاسبه کار نیروی f_k ، اطلاعات داده شده و $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$ را در رابطه ۳-۳ جایگذاری می‌کنیم. پس:

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

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:

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 1300 \text{ J} + 600 \text{ J} + (-300 \text{ J}) = 1600 \text{ J}$$



← دقت بفرمایید بعضی از اعداد در شرح مثال را تغییر داده‌ایم!



@mrgrzaee
@mrphysic123

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 ۲۰۰ m جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن ۱۵۰۰ N است. تراکتور نیروی ثابت $F = 5500 \text{ N}$ را در زاویه $\theta = 53^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = 3000 \text{ N}$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید ($\cos 53^\circ = 0.6$)

راهنمایی

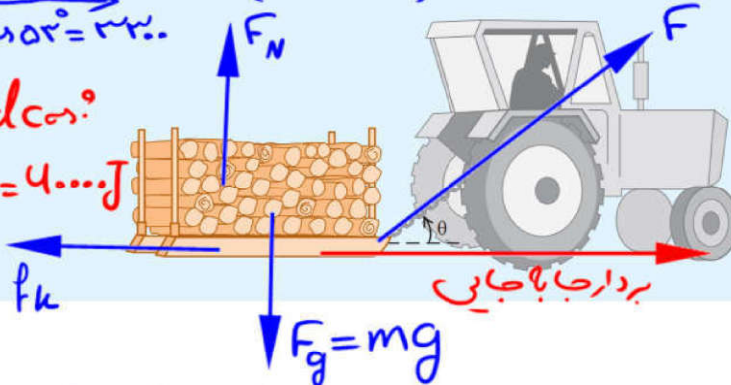
$$F_t = 3000 \text{ N}$$

$$F \cos 53^\circ = 3300$$

$$f_k = 3000 \text{ N}$$

$$W_t = W_{F_t} = F_t d \cos \theta$$

$$= 3000 \times 200 \times 1 = 600000 \text{ J}$$



* توجه بفرمایید:
ابتدا تمام نیروهای که به جسم وارد می‌شود را رسم کنید.
چادر و ستن و چادر و ستن

راهنمایی

$$W_t = W_F + W_{f_k} + W_{mg} + W_N$$

$$\Rightarrow W_t = 400000 \text{ J}$$

$$W_F = F d \cos 53^\circ = 5500 \times 200 \times 0.6 = 660000 \text{ J}$$

$$W_{f_k} = f_k d \cos 180^\circ = 3000 \times 200 \times (-1) = -600000 \text{ J}$$

قضیه کار و انرژی جنبشی $\Delta K = W_t$

۳-۳ کار و انرژی جنبشی

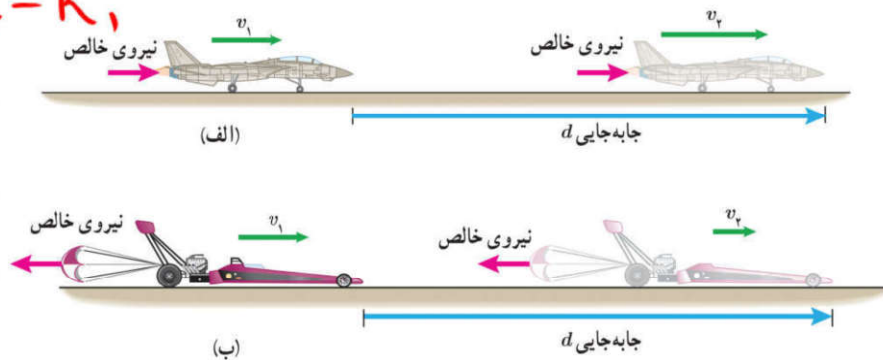
* تغییرات انرژی جنبشی یک جسم در طی یک جابه‌جایی، با کار کل انجام شده بر آن برابر است.

* این قضیه خواهد ارتباط به کار انجام شده توسط نیروها با تغییرات انرژی جنبشی داشته باشد.

$$\Delta K = K_2 - K_1$$

تغییرات انرژی جنبشی

شکل ۳-۱۴ 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:

$$W_t = K_2 - K_1 \quad (3-4)$$

هنگامی که $W_t > 0$ 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 $W_t < 0$ است، انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد ($K_2 < K_1$) و تندی آن پس از جابه‌جایی کمتر است. هنگامی که $W_t = 0$ 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 به سادگی می‌توان آن را از قانون دوم نیوتون به دست آورد.

مهم

معلم
 ۱) در شرایطی که کار کل را بتوان از روشی‌ها معمول حساب کرد، ممکن است مقصود کاروانرژی جنبشی باشد.
 ۲) اگر کار یک نیرو از رابطه $W_F = F d \cos \theta$ قابل محاسب نبود، امکان دارد مقصود کاروانرژی جنبشی شما را با جواب برساند.

مثال ۳-۶



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

* در این مثال چون نیروها وارد بر جسم

ملخص نیستند (اندازه و جهت آن‌ها معلوم نیست و...)

مقطعه و توان از مقصود کاروانرژی جنبشی سؤال را حل کرد. $W_t = ?$ خواست سؤال

$$W_t = \Delta K \rightarrow W_t = K_r - K_i = 72.9 - 90 = -17.1\text{ J}$$

$$K_r = \frac{1}{2} m v_r^2 = \frac{1}{2} \times 0.45 \times 18^2 = 72.9\text{ J}$$

$$K_i = \frac{1}{2} m v_i^2 = \frac{1}{2} \times 0.45 \times 20^2 = 90\text{ J}$$

علامت منفی نشان دهنده این است که کار کل انجام شده باعث کاهش انرژی جنبشی شده است.



معلم
 مثال ۳-۷ ← اعداد را تغییر داده ام.

چتربازی به جرم کل 85 kg از بالونی که در ارتفاع 1000 m از سطح زمین است، با تندی 5 m/s به بیرون بالون می‌پرد. اگر او با تندی 4 m/s به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا روی چترباز را در طول مسیر سقوط محاسبه کنید. شتاب گرانش زمین را 9.8 m/s^2 بگیرید.

توجه: بفرمایید کار نیروی مقاومت هوا را $W_p = f d \cos 180^\circ$ حساب کرد. چون f را شایع.

$$W_t = \Delta K$$

$$W_p + W_g = K_r - K_i$$

$$W_g = (mg) d \cos 0^\circ = 10 \times 10 \times 1000 \times 1 = 100000\text{ J}$$

$$K_r = \frac{1}{2} m v_r^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 4^2 = 100\text{ J}$$

$$K_i = \frac{1}{2} m v_i^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 5^2 = 125\text{ J}$$

$$\rightarrow W_p + 100000 = 100 - 125 \rightarrow W_p = -79900\text{ J}$$

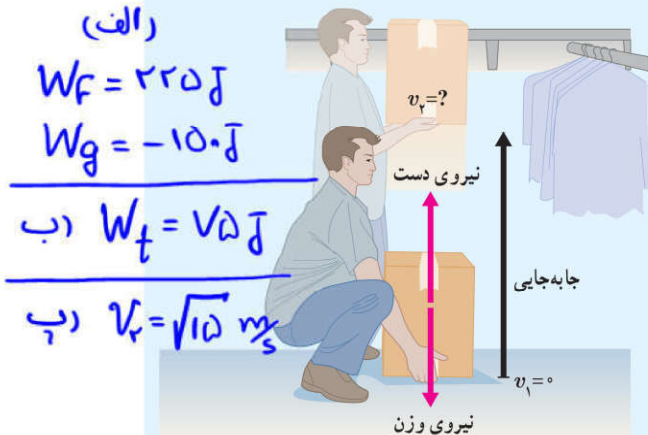
@mrgrazee
 @mrphysic123

دو تن وقت بفرمایید، اینکه $W_p = -799.4 \text{ J}$ شده یعنی نیروی مقاومت هوا با کار متق که انجام داده (کار بزرگش همراهات! علامت متق مفهوم فیزیکی دارد!) با حرکت مقابله کرده و واحد زیاده با افزایش تندی مقابله کرده است.

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.

تمرین ۳-۶



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

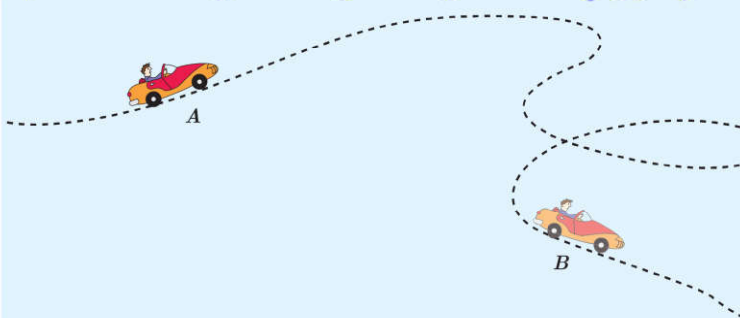
(الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع $1/5 \text{ m}$ به طور جداگانه حساب کنید.

(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.

تمرین ۳-۷

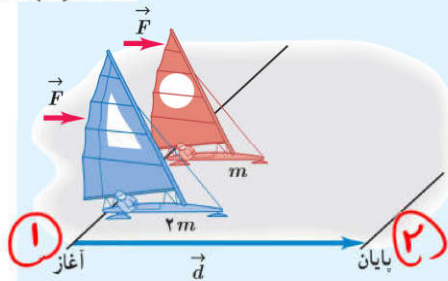
خودتان این سوال را حل کنید! ماشین صاب لازم!



جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش 840 kg است. وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می‌رود، کار کل انجام شده روی خودرو 73500 J است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر 54 km/h باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

@mrgrzaee
@mrphysic123

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.

$$\Delta K = W_t \rightarrow K_f - K_i = W_f + W_g + W_{F_n} \rightarrow K_f = F d \cos \theta$$

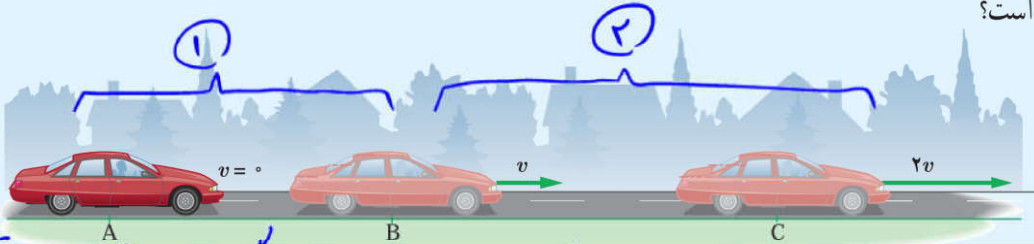
$$K_{\text{قرن}} = K_{\text{آب}} \rightarrow \frac{M_{\text{قرن}}}{K} < \frac{M_{\text{آب}}}{K} \rightarrow \boxed{V_{\text{قرن}} > V_{\text{آب}}}$$

انرژی جنبشی‌ها همتا هموار از خط پایان یکسان است.

$$\frac{W_{t0}}{W_{t\infty}} = \frac{\Delta K_0}{\Delta K_{\infty}} = \frac{\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m \cdot 0^2}{\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2} = \frac{v^2}{4v^2 - v^2} = \frac{1}{3}$$

تمرین ۳-۹ ← سوال پرتلا

برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون در نقطه A به v در نقطه B برسد، باید کار کل W_{11} روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از v در نقطه B به $2v$ در نقطه C برسد، باید کار کل W_{21} روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت W_{11}/W_{21} چقدر است؟



انرژی پتانسیل (U): به انرژی ذخیره شده در سامانه‌ای (دستگاه) متعلق از حداقل دو جسم گفته می‌شود.

۴-۳ 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

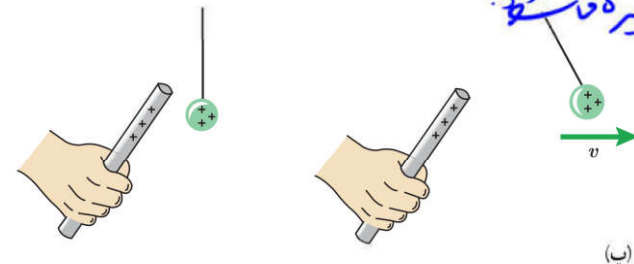
حرکت یک جسم وابسته است، ویژگی یک سامانه (دستگاه) است تا ویژگی یک جسم منفرد. به عبارت دیگر، انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت به یکدیگر بستگی دارد. وقتی انرژی پتانسیل یک سامانه

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 ۵-۳ 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 ۵-۳ 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 ۵-۳ پ).

* باید توجه داشت انرژی پتانسیل در یک سامانه ذخیره می‌شود، اما برای بیان ساده معمولاً حرف از پتانسیل جسم زده می‌شود.

انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین
که این انرژی در یک جسم با توجه به موقعیتی (ارتفاع) که در میدان گرانش یک جسم بزرگ (در حد کره زمین) دارد، ذخیره می‌شود.

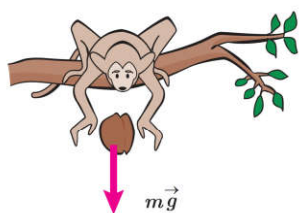
انرژی پتانسیل کشسانی جسم - فنر
این انرژی در یک جسم با توجه به موقعیتی که در یک میدان کشان دارد ذخیره می‌شود.



شکل ۵-۳ 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.

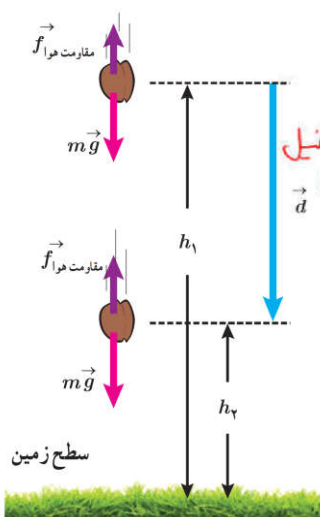
انرژی پتانسیل الکتریکی سامانه حداقل دو جسم باردار
این انرژی برای یک جسم باردار با توجه به موقعیتی که در میدان الکتریکی (میدان ناشی از یک جسم باردار دیگر) دارد ذخیره می‌شود.

مهم: در تغییرات انرژی جنبشی، کار تمام نیروها تأثیر گذار است. (قضیه کار و انرژی جنبشی $\Delta K = W$)
 نیروها با کار که انجام می‌دهند واسطه تبدیل انرژی‌های مختلف به انرژی جنبشی و برعکس می‌شوند.
 مثلاً وقتی جسی روی یک سطح ولقد، نیرو را اصطداک رومان کار منفی انجام داده و باعث کاهش انرژی جنبشی و تبدیل آن به انرژی درون جسم و سطح شده و دمای آن‌ها را بالا می‌برد.
 یا مثلاً وقتی نیروهای مثل نیروی گرانش (وزن)، نیروی الکتریکی و کششی قهر کار منفی انجام می‌دهند، انرژی جنبشی را کاهش و تبدیل به انرژی پتانسیل می‌کند و اگر در یک جابه‌جایی کار مثبت انجام دهیم انرژی پتانسیل را کاهش و تبدیل به انرژی جنبشی می‌کند.



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

$$W_{\text{وزن}} = (mg \cos \theta) d = (mg \cos 0^\circ) d = mgd \\ = mg(h_1 - h_2) = -(mgh_2 - mgh_1)$$



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

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

مهم

است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$U = mgh$

ارتفاع نسبت به مبدأ پتانسیل گرانشی (م)
 (یا $\frac{N}{kg}$ یا $\frac{J}{kg}$)
 کتاب گرانش (میان لارنس)
 جرم (kg)
 گرانسی (J)
 انرژی پتانسیل
 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 ΔU 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.

مهم: در تغییرات انرژی پتانسیل فقط کار نیروهای گرانش (وزن) الکتریکی و کششی مؤثر است.

$\Delta U = -W_g$
 گرانشی

$\Delta U = -W_E$
 الکتریکی

$\Delta U = -W_{\text{کششی}}$

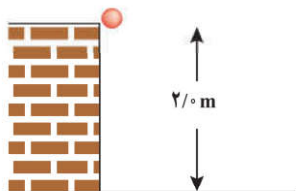
مهم: کار نیروی وزن علاوه بر رابطه $W_g = (mg) d \cos \theta$ از رابطه زیر نیز قابل محاسبات است.

$$W_g = -mg \Delta h$$

تغییرات جسم که وقتی جسم رو به بالا حرکت کند مثبت شده و زمانی که جسم رو به پایین حرکت کند، منفی می شود

$$W_g \text{ یا } W_{mg}$$

مثال ۳-۸



جسمی به جرم 1.0 kg از ارتفاع 2.0 m سقوط می کند و به زمین می رسد. 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 جابه جایی، $\theta = 0^\circ$ می شود و بنابراین،

$$W = (1.0 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) (1) (2.0 \text{ m}) \approx 2.0 \times 10^1 \text{ J}$$

(ب) با استفاده از رابطه ۳-۶ برای محاسبه کار نیروی وزن داریم،

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(mgh_f - mgh_i) = -mg(h_f - h_i)$$

در صورتی که ارتفاع های h_f و h_i را نسبت به سطح زمین بسنجیم، $h_i = 2.0 \text{ m}$ و $h_f = 0^\circ$ می شود و بنابراین،

$$W_{\text{وزن}} = -(1.0 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) (0 - 2.0 \text{ m}) \approx 2.0 \times 10^1 \text{ J}$$

و همان طور که می بینیم نتیجه دو محاسبه یکسان است.

تمرین ۳-۱۰

برای جسمی به جرم m که رو به بالا حرکت می کند و از سطح زمین دور می شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطه ۳-۶ به دست می آید. فرض کنید که جسم به اندازه کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه ای که وزن آن ثابت باشد.

توجه: انرژی پتانسیل گرانشی، یک ویژگی مشترک جسم و زمین است و برای سامانه ای متشکل از این دو، تعریف می شود. 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 می یابد و اگر جسم به زمین نزدیک شود U کاهش می یابد. 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 می گویند.)

هنگامی که با انرژی پتانسیل گرانشی سر و کار داریم می توانیم $h = 0$ را در هر ارتفاعی انتخاب کنیم؛ زیرا اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را انتقال دهیم، مقدارهای h_i و h_f تغییر می کنند و همین طور مقدارهای U_i و U_f . ولی باید توجه داشته باشیم که این انتقال مبدأ، تأثیری بر تغییر ارتفاع $h_f - h_i$ یا بر تغییر انرژی پتانسیل گرانشی $U_f - U_i = mg(h_f - h_i)$ ندارد.

کمیتی که در فیزیک اهمیت دارد تغییر انرژی پتانسیل گرانشی (ΔU) بین دو نقطه است نه مقدار U در

یک نقطه خاص. در نتیجه همان طور که در مثال بعد خواهید دید می توانیم U را در هر نقطه ای که بخواهیم

برابر صفر تعریف کنیم بدون آنکه تأثیری در پاسخ مسئله داشته باشد.

انتخاب مبدأ پتانسیل گرانشی (مبدأ ارتفاع) کاملاً اختیاری بوده و تأثیر در نتیجه و تحلیل نهایی حرکت ندارد. (البته در مقدار انرژی پتانسیل مؤثرات، اما در تغییرات انرژی پتانسیل و نتیجه نهایی تأثیر ندارد.)

$$U = mgh \quad \& \quad \Delta U = mg \Delta h$$

مثال ۳-۹ حذف

شکل زیر، کوه نوردی به جرم 72 kg را نشان می‌دهد که در حال صعود به قله زردکوه بختیاری به ارتفاع 4200 m از سطح آزاد دریاست. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی کوه نورد در 1200 متری پایان ارتفاع صعود چقدر است؟ مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را (الف) سطح دریا و (ب) قله کوه بگیرید. ($g = 9.8\text{ m/s}^2$)



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:

$$h_1 = 3000\text{ m} \quad \text{و} \quad h_2 = 4200\text{ m}$$

$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (72\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(4200\text{ m} - 3000\text{ m}) \approx 8.5 \times 10^5\text{ J}$$

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

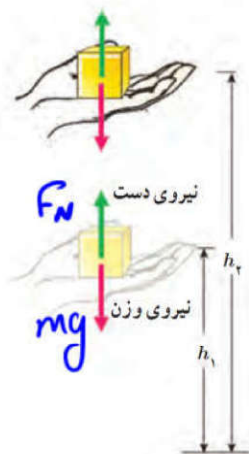
$$h_1 = -1200\text{ m} \quad \text{و} \quad h_2 = 0$$

$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (72\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)[0 - (-1200\text{ m})] \approx 8.5 \times 10^5\text{ J}$$

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

← این سؤال را به صورت عددی حل کنید، شرح سؤال را تغییر داده‌ایم و مدت بفرمایید.

مثال ۳-۱۰



جسم ساکنی به جرم $m = 0.5\text{ kg}$ را مانند شکل روبه رو، با دستان 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.
 $(g = 10\text{ N/kg})$ **★ کار نیروی دست را می‌توانیم مستقیماً به دست آوریم، چون اندازه آن متغیر و نامعلوم است.**

$$W_t = \Delta K$$

$$W_{F_N} + W_g = K_2 - K_1 \rightarrow W_{F_N} = -W_g$$

$$W_g = -mg\Delta h = -0.5 \times 10 \times 0.6 = -3\text{ J}$$

$$\Rightarrow \boxed{W_{F_N} = 3\text{ J}}$$

تمرین ۳-۱۱ حذف

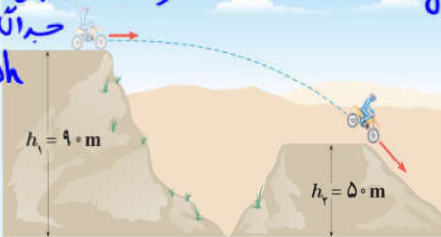


انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم $10^4 \times 7/50 \text{ kg}$ که با تندی 864 km/h در ارتفاع $10^2 \times 9/60 \text{ m}$ حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

خودتان حل کنید. دقت بفرمایید در صل قسمت بهم و توان از قسمت الف و رابطه

تمرین ۳-۱۲

$\Delta U = -W_g$ کمک کثرت و هم توان آن را،
جدا شده و از رابطه
 $W_g = -mg\Delta h$
حل کرد.



جرم موتور سواری با موتورش 150 kg است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.
الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتورسوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = 9/8 \text{ m/s}^2$).
ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جابه‌جایی به دست آورید.

۳-۵ پایستگی انرژی مکانیکی

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

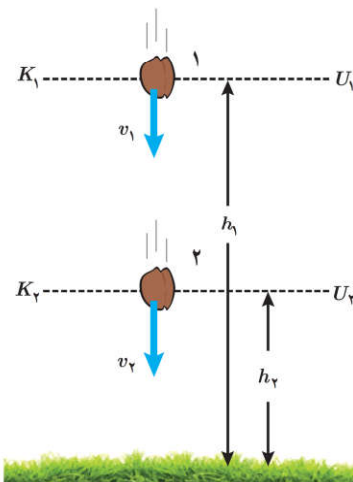
$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1)$$

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

$$W_t = W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

از مقایسه دو رابطه اخیر می‌توان نوشت:

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



شکل ۳-۷ با نزدیک‌تر شدن جسم به زمین، انرژی پتانسیل گرانشی کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد.



کریستیان هویگنس (۱۶۹۵-۱۶۴۹م)، فیزیک‌دان، اخترشناس و ریاضی‌دان هلندی، نخستین دانشمندی بود که در قرن هفدهم، پایستگی انرژی مکانیکی را برای حرکت یک جسم بر اثر گرانش زمین بیان کرد. هویگنس در ادامه فعالیت‌های گالیله در خصوص آونگ، قوانین آونگ ساده را ارائه داد و ساعت‌های آونگی را اختراع کرد. وی همچنین ساخت عدسی‌های تلسکوپ را بهبود بخشید و برای نخستین بار حلقه‌های سیاره زحل را مشاهده و گزارش کرد.

انرژی مکانیکی (E): با مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل یک جسم انرژی مکانیکی گفته می‌شود.

پایستگی انرژی مکانیکی: در جابجایی یک جسم در طول مسیر حرکت، اگر نقطه نیروهای $E = K + U$ مثل نیروی گرانش (وزن)، نیروی الکتریکی و کششی کار انجام دهند، مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل یا عبارت انرژی مکانیکی جسم ثابت می‌ماند.

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

ثابت: $E_r = E_i$
 به هر دو نقطه ای از مسیر حرکت
 این تساوی برقرار است.

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 اختیاری اند، نتیجه می‌گیریم با نادیده گرفتن نیروی مقاومت هوا، انرژی مکانیکی در تمام نقاط مسیر مقدار یکسانی دارد و پایسته می‌ماند. این نتیجه، اصل پایستگی انرژی مکانیکی نام دارد. در مواردی شبیه به این، که هنگام حرکت جسم فقط نیروی وزن کار انجام می‌دهد، انرژی مکانیکی جسم در نقاط مختلف مسیر یکسان است.

$E_B = E_A \rightarrow$ چون فقط نیروی وزن روی جسم کار انجام می‌دهد.

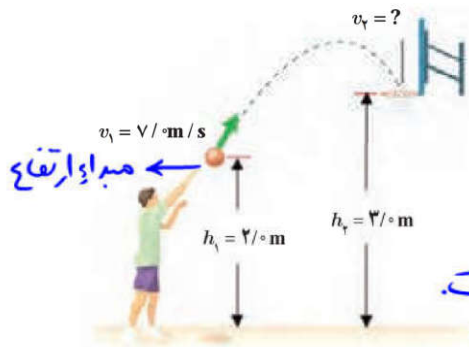
$K_B + U_B = K_A + U_A$
 $\frac{1}{2}mv_B^2 = mgh$
 $v_B = \sqrt{2gh}$

تندی جسم‌ها در نقطه B یکسان است.

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.

مثال ۱۱-۳



شکل روبه‌رو ورزشکاری را در حال پرتاب 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.

و تنها نیروی که روی توپ کار انجام می‌دهد، نیروی وزن است.

$$E_r = E_i$$

$$K_r + U_r = K_i + U_i$$

$$\frac{1}{2}mv_r^2 + mgh_r = \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\frac{1}{2}v_r^2 + 10 \times 1 = \frac{1}{2} \times 49 \rightarrow v_r = \sqrt{29} \text{ m/s}$$

۱- در مواردی که انرژی پتانسیل الکتریکی یا انرژی پتانسیل کشسانی برای سامانه تعریف می‌شود و کار نیروهای اتلافی و نیروهای دیگر (نیروهای که برای کار انجام شده توسط آنها، تغییر انرژی پتانسیل تعریف نمی‌شود) صفر است، نیز انرژی مکانیکی پایسته می‌ماند که در سال‌های بعدی با آنها آشنا می‌شوید.

الف $E_r = E_i$

$K_r + U_r = K_i + U_i$

$\frac{1}{2}mv_r^2 + mgh_r = mgh_i$

$\frac{1}{2}v_r^2 + 10 \times 3 = 10 \times 5$

$v_r = ? \Rightarrow v_r = \sqrt{20} = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$

$v_r = ?$

$h_i = 5 \text{ m}$

$h_r = 3 \text{ m}$

$v_r = ?$

مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی

ب $E_r = E_i$

$K_r + U_r = K_i + U_i$

$\frac{1}{2}mv_r^2 = mgh_i \rightarrow v_r = 10 \text{ m/s}$

سورتمه سواری از ارتفاع $h_i = 5 \text{ m}$ بالای سطح زمین و روی

مسیری بدون اصطکاک، از حال سکون شروع به حرکت می کند.

الف) تندی سورتمه را در ارتفاع h_r به دست آورید.

ب) تندی سورتمه را هنگامی که به سطح زمین می رسد 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 می توان نوشت:

$$K_i + U_i = K_r + U_r \Rightarrow \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_r^2 + mgh_r$$

با حذف m (جرم سورتمه و سورتمه سوار) از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$0 + (9.8 \text{ m/s}^2)(5 \text{ m}) = \frac{1}{2}v_r^2 + (9.8 \text{ m/s}^2)(3 \text{ m}) \Rightarrow v_r = 6.3 \text{ m/s}$$

ب) به طور مشابه قسمت قبل، انرژی مکانیکی وضعیت اول و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار می دهیم.

در این صورت تندی سورتمه سوار روی زمین برابر $v_r = 9.9 \text{ m/s}$ به دست می آید. به جای این کار می توانستید انرژی مکانیکی وضعیت دوم و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار دهید.

تمرین ۳-۱۳ حذف

در مثال ۳-۱۱، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع h_i 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 $v_i = 4 \text{ m/s}$ به طرف صخره ای پرتاب می شود.اگر توپ با تندی $v_r = 25 \text{ m/s}$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع h_r را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

الف $E_r = E_i$

$K_r + U_r = K_i + U_i$

$\frac{1}{2}mv_r^2 + mgh_r = \frac{1}{2}mv_i^2$

$v_i = 4 \text{ m/s}$

$h_r = ?$

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

مبدأ ارتفاع

$$\left(\frac{1}{2} \times 25^2 + 10 \times h_r = \frac{1}{2} \times 4^2\right) \times 2$$

$$\rightarrow 25h_r = 14.00 - 200$$

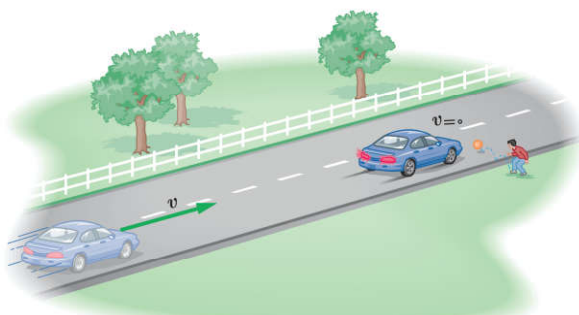
$$h_r = 48.175 \text{ m}$$



@mrgrezaee

@mrphysic123

۳-۶ 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 تشکیل‌دهنده 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 هرچه تعداد ذرات سازنده یک جسم

و انرژی هر ذره آن بیشتر باشند، 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.

تبدیل به انرژی درون توپ و دست با سبده و باعث افزایش دمای آنها 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 $W_f = E_1 - E_2$ است.^۱

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.

در حرکت‌هایی که نیروهای مانند نیروی اصطکاک، مقاومت هوا و... به جسم وارد شده و پس از آن کار انجام می‌دهند (W_p) باعث کاهش انرژی مکانیکی و تبدیل آن به انرژی درون جسم، میسر حرکت و هوا می‌شوند.

این رابطه نشان می‌دهد با حضور نیروهای اتلافی، انرژی مکانیکی جسم یا سامانه پایسته نمی‌ماند و در این 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.

برای هر دو نقطه
دلتا هاء از میر حرکت

$$E_r = E_i + W_p$$

شکل ۳-۲ وقتی نیروهای مانند اصطکاک

و مقاومت هوا در حین حرکت جسم، روی آن کار انجام دهند انرژی مکانیکی جسم پایسته نیست.



یولیوس فون مایر
(۱۸۱۴-۱۸۷۸م)

قانون پایستگی انرژی بیانی از ثبات در طبیعت است. انرژی کل، کمی است که پایسته می‌ماند؛ درحالی که کمیت‌های دیگر می‌توانند تغییر کنند. اولین اظهار نظر دربارهٔ اینکه 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 شاخهٔ مهم فیزیک، به نام ترمودینامیک و مکانیک را وحدت بخشید.



جیمز پریسکات ژول
(۱۸۱۸-۱۸۸۹م)

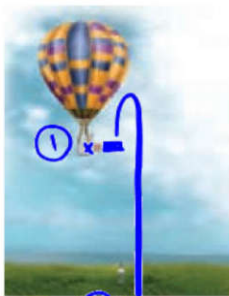
قانون پایستگی انرژی: در یک سامانهٔ منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند. انرژی را

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.

سامانهٔ متزوی: به مجموعه‌ای از اجسام که فقط در برهه خود تبادل انرژی دارند، یعنی نه از محیط اطراف خود انرژی می‌گیرند و نه انرژی به آن می‌دهند، سامانهٔ متزوی گفته می‌شود.



میدان
ارتفاع

از بالونی که در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین و با تندی ۳۰ m/s در پرواز است، بسته‌ای به جرم ۲۰۰ kg رها می‌شود و با تندی ۲۵ m/s به زمین برخورد می‌کند. کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظهٔ رها شدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ($g = 10 \frac{N}{kg}$)

اعداد داده شده را تغییر دهید!

$$E_r = E_i + W_p$$

$$K_r + U_r = K_i + U_i + W_p$$

$$\frac{1}{2}mv_r^2 = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i + W_p$$

$$\frac{1}{2} \times 200 \times 900 = \frac{1}{2} \times 200 \times 25 + 200 \times 10 \times 50 + W_p$$

$$90000 = 3125 + 10000 + W_p$$

$$\rightarrow W_p = -14875 \text{ J}$$



@mrgrezaee
@mrphysic123

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

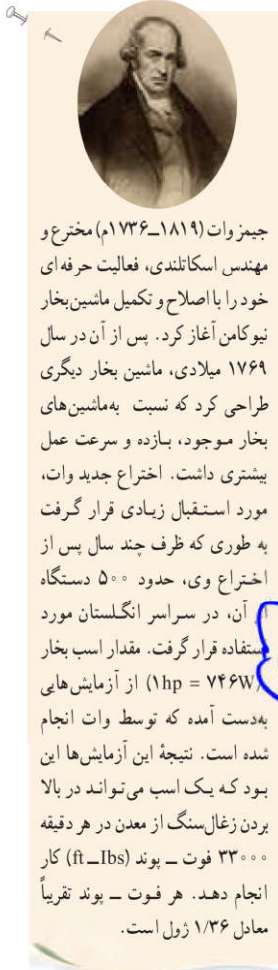
$$K_B = 0.18 K_A$$

$$\frac{1}{2} m V_B^2 = 0.18 \left(\frac{1}{2} m V_A^2 \right) \rightarrow V_B^2 = 0.18 \times V_A^2 \rightarrow V_B = \sqrt{0.18} V_A = \sqrt{0.18} \times 10 \text{ m/s} = 4.24 \text{ m/s}$$

تمرین ۳-۱۵



توبی به جرم 45 kg با تندی $v_1 = 10 \text{ m/s}$ از نقطه A می گذرد (شکل روبه رو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توب با زمین، 20% درصد انرژی جنبشی اولیه توب را تا رسیدن به نقطه B تلف می کنند. تندی توب را در این نقطه به دست آورید.



۲-۳ توان

در علوم نهم با برخی از ماشین های ساده آشنا شدید. یکی از مهم ترین ویژگی های هر ماشین، چه ساده باشد چه پیچیده، مدت زمانی است که طول می کشد تا کار معینی را انجام دهد. یک ماشین می تواند کار معینی را آرام، یا تند انجام دهد. برای مثال، هرچه موتور یک خودرو قوی تر باشد راحت تر و سریع تر می تواند از یک جاده کوهستانی بالا رود. در صورتی که برای پیمودن همین مسیر توسط خودرویی مشابه، ولی با موتور ضعیف تر، زمان طولانی تری لازم است.

در اغلب موارد لازم است بدانیم در چه مدت زمانی می توان کار معینی را انجام داد. در فیزیک، **آهنگ انجام کار** را با کمیتی به نام **توان** توصیف می کنیم. هرچند در گفت و گوهای روزمره، معمولاً واژه توان را با واژه های انرژی یا نیرو مترادف می گیرند، اما این کمیت در فیزیک تعریف دقیقی دارد. توان، همانند کار و انرژی، کمیتی است نرده ای و به صورت آهنگ انجام کار بیان می شود. هنگامی که کار W در بازه زمانی Δt انجام می شود، کار انجام شده در واحد زمان یا توان متوسط P_{av} به صورت زیر تعریف می شود:

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

برای وسیله ای که انرژی مصرف کند، انرژی مصرف شده $P = \frac{W}{t}$

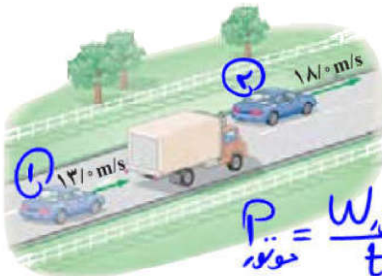
کسیر از جنس انرژی بر زمان (آهنگ انرژی)

انجام کار

انرژی مصرف شده

یکای SI توان، وات (W) است که به احترام جیمز وات مخترع انگلیسی نام گذاری شده است. مطابق تعریف توان (رابطه ۲-۳)، یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$). استفاده از یکاهای بزرگ تر توان، مانند کیلووات (kW) و مگاوات (MW) نیز متداول است. یکای قدیمی توان، به نام اسب بخار ($1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$) هنوز نیز استفاده می شود. 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 می شود.

مثال ۳-۱۴



شکل روبه رو خودرویی به جرم 1300 kg را نشان می دهد که برای سبقت گرفتن از کامیونی، در مسیری افقی و در مدت 3 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،

$$P = \frac{W_{\text{موتور}}}{t} = \frac{100750}{3} = 33583 \text{ W} = 45 \text{ hp}$$

دست کم چقدر باید باشد؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.

آلترناتو، توان بیشتر خواهد بود.

۲- یکای hp از سر حرف عبارت horse power به معنای اسب بخار گرفته شده است.

۱- زیر نویس av در P_{av} از ابتدای واژه average به معنای متوسط گرفته شده است.

$$W_f = \Delta K \rightarrow W = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \times 1300 \times (18^2 - 13^2) = 100750 \text{ J}$$

$$W_{\text{موتور}} + W_{\text{گ}} + W_{\text{ف}} = K_2 - K_1$$

پاسخ: با توجه به رابطه ۳-۴، کار کل انجام شده توسط موتور خودرو، برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب، با به دست آوردن انرژی جنبشی خودرو در دو وضعیت داده شده و محاسبه کار کل موتور خودرو داریم:

$$W_t = K_f - K_i = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

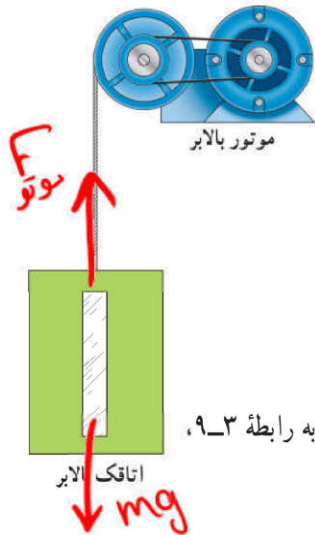
$$= \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}(1300 \text{ kg})[(18 \text{ m/s})^2 - (13 \text{ m/s})^2] = 100750 \approx 1.01 \times 10^5 \text{ J}$$

با جایگذاری مقدار به دست آمده در رابطه ۳-۹، کمترین توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار برابر است با:

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{100750 \text{ J}}{3 \text{ s}} \approx 3.36 \times 10^4 \text{ W} = 45 \text{ hp}$$

در واقع با وجود نیروهای اتلافی (مانند مقاومت هوا) در حین حرکت خودرو، توان مورد نیاز از این مقدار بیشتر است.

$P_{\text{موتور}} = \frac{W_{\text{موتور}}}{t} = \frac{20000 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 20000 \text{ W} \approx 27 \text{ hp}$
 $W_t = \Delta K$
 $W_t + W_g = K_f - K_i$
 $W_{\text{موتور}} = 20000 \text{ J}$
 $W_g = -mgh$
 $W_g = -500 \times 10 \times 4 = -20000 \text{ J}$



جرم اتاقک بالابری به همراه بار آن 500 kg است (شکل روبه‌رو). اگر این بالابر در مدت 10 s از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع 6 m برود، توان متوسط موتور این بالابر چند اسب بخار است؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید. ($1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$)

پاسخ: با توجه به رابطه ۳-۴، کار کل انجام شده روی اتاقک بالابر (شامل کار نیروی وزن و کار نیروی موتور بالابر) برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب داریم:

$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{موتور}} = K_f - K_i$$

$$-mg(h_f - h_i) + W_{\text{موتور}} = 0 - 0$$

$$W_{\text{موتور}} = mg(h_f - h_i) = (500 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(6 \text{ m} - 0) = 29400 \text{ J} \approx 2.94 \times 10^4 \text{ J}$$

در محاسبه بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین (طبقه همکف) گرفته‌ایم. با توجه به رابطه ۳-۹، توان متوسط موتور بالابر برابر است با:

$$P_{av} = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t} = \frac{29400 \text{ J}}{1 \text{ s}} \approx 2.94 \times 10^4 \text{ W} = 39 \text{ hp}$$

تمرین ۳-۱۶



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

$$P_{\text{موتور}} = \frac{W_{\text{موتور}}}{t} = \frac{Fdcos\theta}{t} = \frac{2 \times 10^5 \times 15 \times 10^3 \times 1}{40} = 7.5 \times 10^6 \text{ W} \approx 10067 \text{ hp}$$

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 به‌صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند گرم‌تر شدن اجزای موتور و کابل بالابر در می‌آید. شکل ۱۰-۳ طرح‌واره‌ای است که این نوع تبدیل انرژی‌ها در سامانه را نشان می‌دهد.

دو‌مسئله بازده
همواره خروجی مفید
انرژی ورودی = ۱۰۰٪
کسر بازده



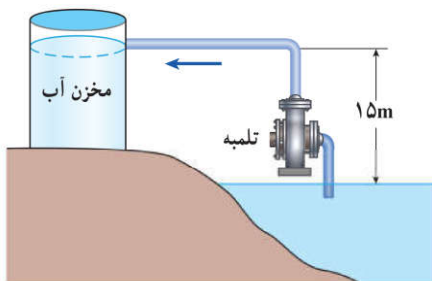
همان‌طور که طرح‌واره شکل ۱۰-۳ نشان می‌دهد تنها بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی خروجی یا کار مفید می‌گویند. نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را بازده می‌نامیم. معمولاً بازده هر سامانه را برحسب درصد بیان می‌کنند، که همواره عددی کوچک‌تر از ۱۰۰ است. رابطه زیر می‌توان درصد بازده هر سامانه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

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

همان‌گونه که کمیت توان متوسط را برای کار انجام شده تعریف کردیم، می‌توانیم در انتقال‌های انرژی نیز کمیت توان را تعریف کنیم. اگر در مدت زمان Δt ، انرژی ΔE منتقل شده باشد، توان متوسط آن از نسبت ΔE به Δt به دست می‌آید.

مثال ۱۶-۳

تلمبه‌ای با توان ورودی ۱۵kW در هر ثانیه ۷۰ لیتر آب دریاچه‌ای به چگالی ۱۰۰۰ kg/m^3 را مطابق شکل روبه‌رو تا ارتفاع ۱۵ متری مخزنی می‌فرستد. بازده تلمبه چند درصد است؟



★ درایع مسئله بازده خواص مشابه است.

$$\eta = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} = \frac{۱۰۵۰۰}{۱۵۰۰۰} = ۰.۷ \quad \xrightarrow{\times ۱۰۰} \quad \boxed{۷۰ \text{ درصد}}$$

درایع مسئله ورودی الکتریکی
خروجی mgh

$$P = \frac{\text{انرژی ورودی}}{t} \rightarrow \text{انرژی ورودی} = ۱۵۰۰۰ \times ۱ = ۱۵۰۰۰ \text{ J}$$

$$\text{انرژی خروجی} = mgh = ۷۰ \times ۱۰ \times ۱۵ = ۱۰۵۰۰ \text{ J}$$

انرژی ورودی = ۰.۱۸ = انرژی خروجی

* در اینجا ما باز داده شده
 خروجی الکتریکی بوده و ورودی mgh است. $2 \times 10^4 \times 1 \times 1 = 2 \times 10^4 \text{ J}$ خروجی $\rightarrow \frac{\text{خروجی}}{t} = P$
 تمرین ۳-۱۷ **دقت بفرمایید اعداد ما تغییر کرده است.**

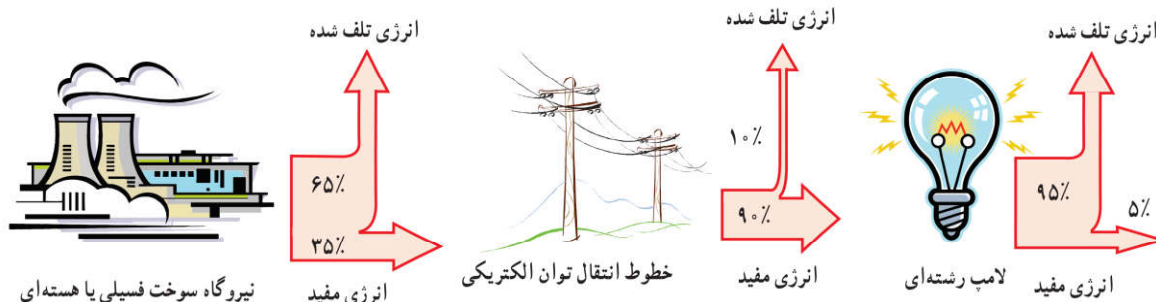


آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از مسیری مطابق شکل روی پره های توربینی می ریزد و آن را می چرخاند. با چرخش توربین، مولد می چرخد و انرژی الکتریکی تولید می شود (شکل روبه رو). اگر ۸۰ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به ۲۰۰ MW برسد؟ جرم هر متر مکعب آب را 1000 kg در نظر بگیرید.

$mgh = 2 \times 10^4 = \frac{2 \times 10^4}{0.18} = 215 \times 10^4 \text{ J} \rightarrow m = \frac{215 \times 10^4}{1000 \times 50} = 5 \times 10^3 \text{ kg}$

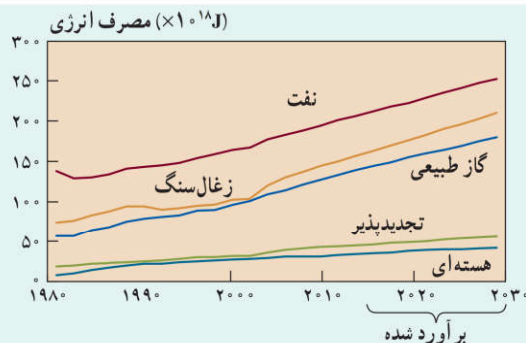
شکل زیر طرح واره ای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف شده در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته ای نشان می دهد.

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 100 W در طول یک ماه به مدت 180 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.



فعالیت ۲-۳

مدت زمانی که طول می کشد تا با دویدن به بالای یک راه پله برسید را اندازه بگیرید. توان متوسط مفید خودتان را در این فعالیت بر حسب وات و اسب بخار محاسبه کنید.



کل مصرف انرژی از منابع مختلف. همان طور که دیده می شود طی ۱۵ سال آینده مصرف انرژی جهان از منابع مختلف رشد چشمگیری خواهد داشت. در این میان بهره برداری از سوخت های فسیلی بیش از سایر منابع انرژی است.

بهینه سازی مصرف انرژی : امروزه انرژی در همه عرصه های زندگی بشر و همچنین توسعه زیرساخت های صنعتی و اقتصادی نقش محوری ایفا می کند و یکی از ارکان استقلال و اقتدار سیاسی کشورها محسوب می شود. افزایش روز افزون مصرف انواع مختلف انرژی در جهان، هم اینک به یکی از چالش های فراروی بشر تبدیل شده است (شکل روبه رو). این امر به ویژه پس از بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ میلادی، متخصصان حوزه انرژی را به بررسی و ارائه راهکارهایی برای استفاده و مصرف بهینه انرژی واداشته است.

همان طور که دیده می شود بهینه سازی مصرف انرژی از نظر اقتصادی نه تنها یک ضرورت است؛ بلکه از جنبه زیست محیطی نیز اهمیت بسزایی دارد. بهینه سازی مصرف انرژی به بیان ساده به مجموعه ای از راهکارها و عملکردها گفته می شود که منجر به کاهش مصرف مقدار انرژی در بخش های مختلفی از قبیل تولید، خدمات و استفاده های مسکونی شود. به این منظور دولت ها تلاش می کنند تا برنامه های مختلفی را پس از برنامه ریزی دقیق و به خصوص توجه به جنبه های زیست محیطی آن به اجرا در آورند. برای مثال، یکی از موارد مهمی که در سال های اخیر در ایران از طرف مسئولان مورد تأکید نظری و عملی قرار گرفته است، تعیین ملاک هایی برای مصرف انرژی کلیه وسایل خانگی است که عملکرد آنها به انرژی وابسته است. حاصل این کار تهیه و تدوین برچسب انرژی است که شامل اطلاعات مربوط به مصرف انرژی کالای تولید شده است (شکل روبه رو).

برچسب مصرف انرژی یخچال فریزر	
بازدهی بیشتر A++ A+ A B C D E F G بازدهی کمتر	انرژی B
مصرف انرژی (بر حسب کیلو وات ساعت در سال) بر اساس نتایج آزمون در ۲۴ ساعت (مصرف واقعی انرژی به چگونی و مکان استفاده از دستگاه بستگی دارد)	548
حجم مخفظه نگهداری مواد غذایی غیرمنجمد (لیتر) حجم مخفظه نگهداری مواد غذایی منجمد (لیتر) کلاس منطقه آب و هوایی	285 115 گره سیوری
نام سازنده مدل اطلاعات بیشتر در دفترچه راهنمای دستگاه موجود است. بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۴۸۵۳-۲	ABCDE abcde

برچسب مصرف انرژی مربوط به نوعی از یخچال فریزر. همان طور که دیده می شود شاخص مصرف انرژی این کالا، از رتبه A تا G، دارای رتبه B است که رتبه متوسطی محسوب می شود.

۳-۱ انرژی جنبشی

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



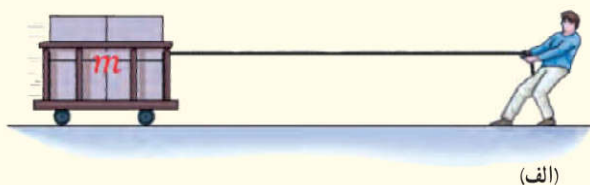
۲) حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب‌سنگی در نزدیک آریزونای آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل زیر). با اندازه‌گیری‌های جدید (۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود 10^6 kg بوده و با تندی $12 \times 10^4 \text{ km/s}$ به زمین برخورد کرده است.

انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟
(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تن TNT تقریباً برابر $10^9 \times 4/2 \text{ J}$ است.)



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

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

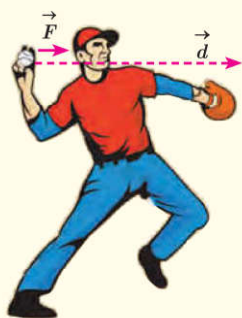


(الف)



(ب)

۴) ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم 150 g را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = 75 \text{ N}$ 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؟

$$W_t = \Delta K = K_2 - K_1 \rightarrow \begin{cases} W_{t_{اف}} = \frac{1}{2} m v^r \\ W_{t_{ب}} = \frac{1}{2} (2m) v^r = 2 \left(\frac{1}{2} m v^r \right) \end{cases} \rightarrow W_{t_{ب}} > W_{t_{اف}} \quad -3$$

$$\rightarrow W_t = \frac{1}{2} m v^r$$

$$\Delta K = W_t$$

$$K_2 - K_1 = W_f + W_{mg} + W_p \Rightarrow \frac{1}{2} m v^r = F d \cos \theta$$

چون سوال گفته $\rightarrow \frac{1}{2} \times 10 \times v^r = 70 \times 10 \times 1$
 چون میرکت $\rightarrow v = \sqrt{100} = 10 \sqrt{10} \text{ m/s}$
 افقات و $\theta = 90^\circ$ $\rightarrow W_p = 0$
 چون در ابتدا توپ ساکن بوده است

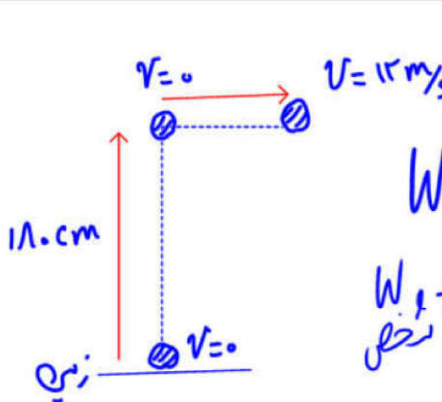
۵- بله، در حرکت هایی که طی جا جایی، تندی جسم کاهش یابد، انرژی جنبشی نیز کم شده و تغییرات انرژی جنبشی متغیر شود. بنابراین طبق قضیه کار و انرژی جنبشی ($W_t = \Delta K$)، کار کل نیز متغیر خواهد شد.

$$\frac{W_{t(2)}}{W_{t(1)}} = \frac{\Delta K_{(2)}}{\Delta K_{(1)}} = \frac{\frac{1}{2} m (2v)^2 - 0}{\frac{1}{2} m v^2 - 0} = \frac{9v^2}{v^2} = 9 \quad -4$$

۷- الف) خیر، زیرا نیروی دت مابرجا جایی عمود است!
 ب) در حالتی که تندی تغییر نکند، دیگر نیروی دت مابرجا جایی عمود نبوده و کار انجام ندهد!
 ★ دوتان این سوال خیلی جای بحث داره! بماند... حساس باشید و حفظش کنید...
 رنگش صحبت خواهیم کرد.

۸- شکل ساده برای لحال در نظر بگیریم

قضیه کار و انرژی جنبشی را برای کل مسیر بنویسیم.



$$W_t = \Delta K \quad W_g = -mg \Delta h = -10 \times 10 \times 1.8 = -217 \text{ J}$$

$$W_t + W_g = K_2 - K_1 \quad K_2 = \frac{1}{2} m v^r = 101.8 \text{ J}$$

$$\rightarrow W_{\text{تخت}} - 217 = 101.8 \rightarrow W_{\text{تخت}} = 318.8 \text{ J}$$

۳-۴ کار و انرژی پتانسیل

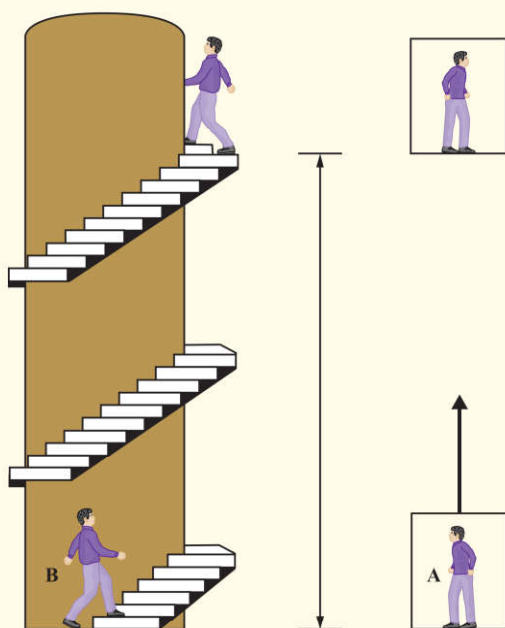
۱۰ آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چطور؟ توضیح دهید.

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



۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم 15g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع 180cm از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی 12m/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)

مسیر حرکت دایره‌ای (مدار)
ماهواره‌ای که دور زمین می‌چرخد.

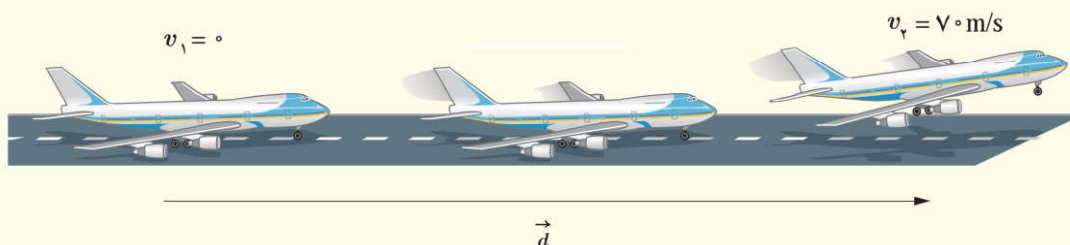


(ب)

البته باید دقت داشت که وجود این نیرو باعث ایجاد دلتاب انرژی خواهد بود که منقطع باعث تغییر در جهت بردار سرعت می‌شود.

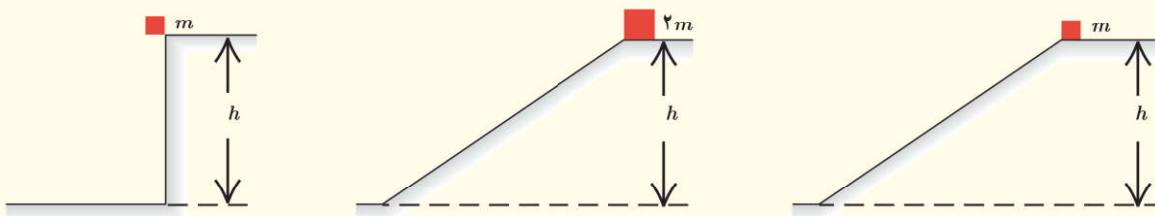
۷۹ جواب ۹، نیروی وزن یک نیروی مرکز گرا بوده و چون در راستای شعاع حرکت است، با مسیر حرکت عمود می‌باشد. بنابراین کار این نیرو صفر شده و انرژی جنبشی را تغییر ن داده و تندی (اندازه بردار سرعت) ثابت می‌ماند.

۱۲ شکل زیر هواپیمایی به جرم $10^4 \times 7/2$ kg را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از 205 m جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن $v_p = 70$ 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 m از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به 140 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؟



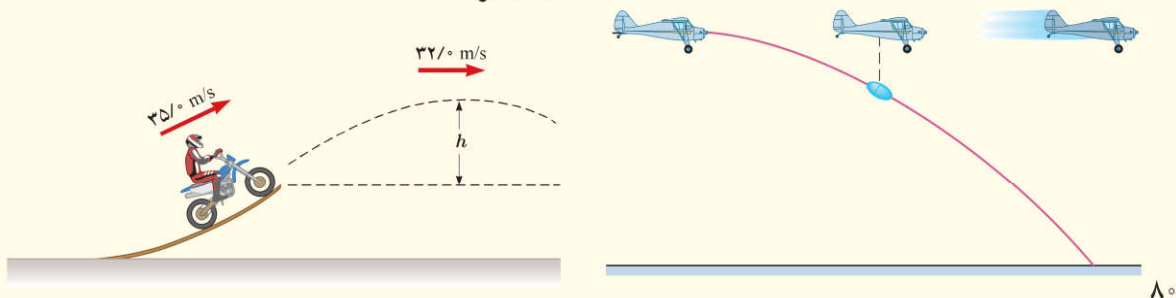
۳-۵ و ۳-۶ بایستگی انرژی مکانیکی و کار و انرژی درونی

۱۲ در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع h نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود. در کدام حالت، جسم: الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟ ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟



۱۴ در شکل زیر هواپیمایی که در ارتفاع 300 m از سطح زمین و با تندی 50 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.

۱۵ موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل زیر، پرشی را با تندی 350 m/s انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطه مسیرش به 320 m/s برسد، ارتفاع h را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.



۹- در صفت خود کتاب ↑

۱۰- خیر، انرژی جنبشی همواره مثبت است.
بله، انرژی پتانسیل با توجه به مبدأ در نظر گرفته شده، می تواند مثبت یا منفی، صفر یا مثبت باشد.

۱۱- الف، غلط، طبق رابطه $U = mgh$ و متن هم جرم و هم مبدأ ارتفاع آن ها یکسان است
انرژی پتانسیل آن برابر خواهد بود.

ب) غلط، طبق توصیحات قسمت الف

پ) درست، طبق رابطه $W = -mg\Delta h$ هم جرم و هم تغییر ارتفاع آن ها برابر است.

ت) درست، طبق توصیحات قسمت الف

۱۳- تندی همه جسم یکسان است. ^{زیرا}
الف) $E_r = E_i$
 $K_r + U_r = K_i + U_i$

$$\frac{1}{2}mv_r^2 = mgh \rightarrow v_r^2 = 2gh \rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

ب) شکل وسط $W_g = -Mg\Delta h$ $\xrightarrow[\text{جرم بزرگتر، کد بزرگتر}]{\Delta h \text{ های یکسان}}$

۱۴- مبدأ پتانسیل سطح زمین
وضع شده است.
 $E_r = E_i \rightarrow K_r + U_r = K_i + U_i$

$$\frac{1}{2}mV_r^2 = \frac{1}{2}mV_i^2 + mgh \rightarrow \frac{1}{2}V_r^2 = \frac{1}{2} \times 5^2 + 10 \times 3 \rightarrow V_r = \sqrt{115} \approx 9.2 \text{ m/s}$$

۱۵- مبدأ پتانسیل گرانش، نقطه
شروع پرتی، وضع شده است.
 $E_r = E_i \rightarrow K_r + U_r = K_i + U_i$

$$\frac{1}{2}mV_r^2 + mgh = \frac{1}{2}mV_i^2 \rightarrow \frac{1}{2} \times 3^2 + 10h = \frac{1}{2} \times 5^2 \rightarrow h = 1.05 \text{ m}$$

۱۶- مبدأ پتانسیل سطح زمین
وضع شده است.
 $E_r = E_i$

$$K_r + U_r = K_i + U_i$$

انرژی جنبشی آن ها یکسان خواهد بود.
 $\rightarrow K_r = \frac{1}{2}mV^2 + mgh$ $\xrightarrow[\text{یکسان}]{v, h, m}$

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؟



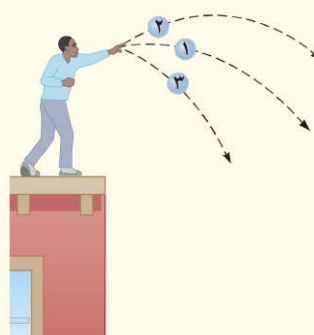
۳-۷ توان

۲۰ بالابری با تندی ثابت، باری به جرم 65 kg را در مدت $3/0$ دقیقه تا ارتفاع 75 m بالا می‌برد. اگر جرم بالابر 320 kg باشد، توان متوسط مفید موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

۲۱ شخصی به جرم 72 kg ، در مدت زمان 9 s از تعداد 50 پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را 3 cm فرض کنید.

۲۲ سالانه نزدیک به 125 میلیارد لیتر مواد و فراورده‌های نفتی از طریق حدود 14000 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

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.



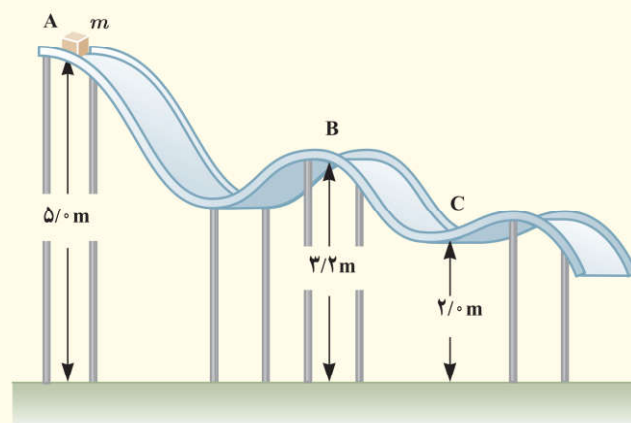
۱۷ گلوله‌ای به جرم 5 g از دهانه تفنگی با تندی $1/5\text{ km/s}$ و ارتفاع $1/6\text{ m}$ از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی 45 km/s به زمین برخورد کند،

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. از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

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.



۱۷- هباز پتانسیل گرانشی را سطح زیرین فرض کنیم

$$E_r = E_i + W_p \quad \text{الف}$$

$$K_r + U_r = K_i + U_i + W_p$$

$$\frac{1}{2} m v_r^2 = \frac{1}{2} m v_i^2 + m g h_i + W_p \rightarrow \underbrace{\frac{1}{2} \times 0.5 \times (45.0)^2}_{542.5} = \underbrace{\frac{1}{2} \times 0.5 \times (15.0)^2}_{542.5} + \underbrace{0.5 \times 9.8 \times 1.4}_{1.8} + W_p$$

$$\rightarrow W_p = 542.5 - 542.5 - 1.8 = \boxed{-511.8 \text{ J}}$$

ب) می توان نتیجه گرفت در تندی های بالا، مقاومت هوا به شدت اثر گذار بوده و اندازه این نیرو و کارش که از جرم و دهنده بزرگ است.
 * به طور کلی هرچه تندی بیشتر باشد نیروی مقاومت هوا نیز کمتر خواهد شد.

۱۸- خودتون بررسی کنید! $W_g = -mg\Delta h$ ب) & $E_r = E_i$ الف

۱۹- الف، با او برخورد نمی کند. چون در نقطه شروع حرکت رها شده و تمام سطح انرژی از آن از نوع انرژی پتانسیل است. چون در حرکت رفت و برگشت در اثر مقاومت هوا مقداری از انرژی مکانیک آن گریخته و می شود، در برگشت، انرژی پتانسیل کمتری داشته و تا ارتفاع کمتری بالایی می آید.
 ب) در این صورت، احتمال برخورد وجود دارد.

۲۰- $P_{\text{موتور}} = \frac{W_{\text{موتور}}}{t} = \frac{727500}{180} = \boxed{4041.4 \text{ W}} \times \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} = \boxed{5.4 \text{ hp}}$

$$W_t = \Delta K \rightarrow W_{\text{موتور}} + W_g = K_r - K_i \rightarrow W_{\text{موتور}} = -W_g = 97.0 \times 1.0 \times 7.5 = 727500 \text{ J}$$

(صفحه تندی ثابت) $-mg\Delta h$

۲۱- $P_{\text{فشار}} = \frac{W_{\text{فشار}}}{t} = \frac{10800}{90} = \boxed{120 \text{ W}}$

$$W_t = \Delta K \rightarrow W_{\text{فشار}} + W_g = K_r - K_i \rightarrow W_{\text{فشار}} = -W_g = 72 \times 1.0 \times 1.5 = 10800 \text{ J}$$

$-mg\Delta h$

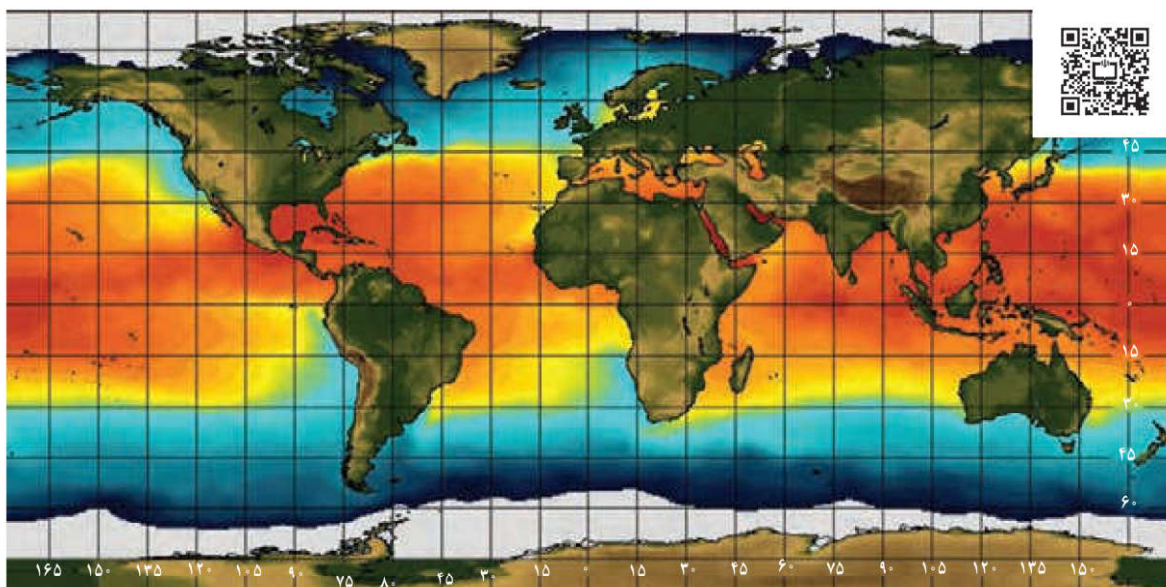
$$\Delta h = h_r - h_i = (5.0 \times 3) - 0 = 15 \text{ m}$$

آورند. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می‌دهد که در ارتفاع 2050 m از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه $1/00\text{ m}^3$ مواد نفتی از طریق لوله‌ای با قطر $32/0$ اینچ ($81/2\text{ cm}$) توسط دو دستگاه پمپ (تلمبه) تا ارتفاع 2700 m از سطح دریای آزاد فرستاده می‌شود. اگر بازده هر یک از پمپ‌های این مرکز حدود 28 درصد باشد^۱، توان ورودی هر یک از آنها برحسب مگاوات (MW) و اسب بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را 860 kg/m^3 بگیرید.)



مرکز انتقال نفت گندم‌کار، یکی از ۷ مرکزی است که در مسیر مارون – اصفهان قرار دارد. این مسیر، که طولی برابر 431 کیلومتر دارد دومین مسیر سخت و صعب‌العبور خطوط انتقال مواد نفتی در دنیاست.

۱ – بخش زیادی از انرژی پمپ‌ها، صرف غلبه بر چسبندگی زیاد مواد نفتی با جداری داخلی لوله‌های انتقال می‌شود.



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 خبسی 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 به‌دست آورد.

در کتاب‌های علوم با مفهوم‌های دما و گرما به‌طور 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.

* در این فصل با انرژی گرمایی (که یک نوع انرژی انتقالی است) و راههای انتقال آن آنت و روش و صفات و فصل ۴

دیدگاه تبادل انرژی گرمایی بی‌اجرم رومنان‌ها چه تأثیراتی می‌گذارد.

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.

دما: کمیتی است که توانایی اجسام در دادن انرژی گرمایی را مشخص می‌کند.

در کتاب‌های علوم خود دیدید دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند.



* ویلانی که دما با آن اندازه‌گیری شده (بسیار ساده) دماسنج نام دارد.

برای اندازه‌گیری دما **بایه از یک** مشخصه قابل

اندازه‌گیری بهره بگیریم که به مبادله انرژی گرمایی تغییر می‌کند. به این معنی اصطلاحاً **کمیت دماسنجی**

می‌گویند. تغییر کمیت دماسنجی، اساس کار دماسنج‌هاست. ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج،

دماسنج‌های جیوه‌ای^۱ 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 (۱atm)

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^۲ گفته می‌شد. یکای درجه سلسیوس را با نماد °C، و دما برحسب درجه

سلسیوس را معمولاً با θ نمایش می‌دهند.

از سال ۱۹۵۴ میلادی، یکای دیگری به نام کلون به عنوان مقیاس بین‌المللی دما انتخاب شد. این

یک، با نماد K نمایش داده می‌شود. دما برحسب کلون را معمولاً با T نشان می‌دهند. رابطه میان دما

در مقیاس‌های سلسیوس و کلون به صورت زیر است:

$$(۱-۴) \quad T = \theta + ۲۷۳$$

در مقیاس کلون دما با T و یکای آن یکای SI دمای ترمودینامیک با K (کلون) نمایش داده می‌شود.

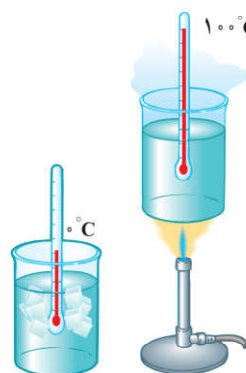
بنا به رابطه ۱-۴ صفر کلون برابر $۲۷۳/۱۵^{\circ}\text{C}$ است که این کمترین دمای ممکن نیز هست^۳.

اما برای دما، حد بالایی وجود ندارد. گستره برخی از دماهای مشهور در شکل ۳-۴ برحسب کلون

نشان داده شده است.

شکل ۱-۴ یک نمونه دماسنج الکلی

* مقیاس دما، یک نوع درجانه است که دما با آن اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲-۴ شکلی طرح‌وار از مقیاس‌بندی دما

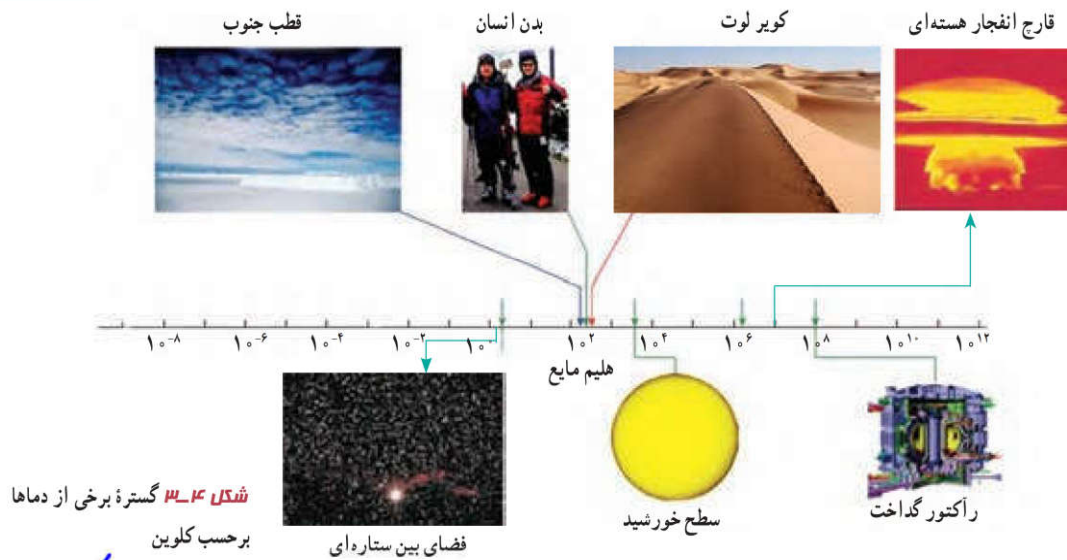
$$-۲۷۳/۱۵^{\circ}\text{C} = \text{صفر کلون}$$

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 کلون به طور دقیق برابر $۲۷۳/۱۵^{\circ}\text{C}$ است ولی برای محاسباتی این کتاب همان مقدار تقریبی ۲۷۳°C در نظر گرفته می‌شود.

مهم $\Rightarrow$ $\Delta T = \Delta \theta$ & $\Delta F = 1.8 \Delta \theta$



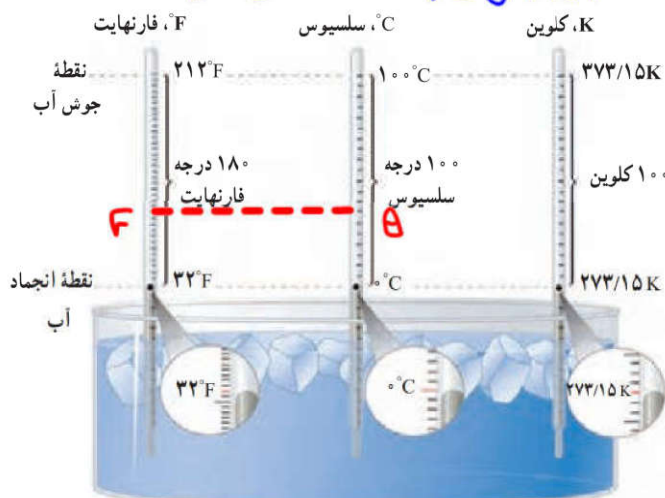
تمرین ۱-۴

تفاوت مقیاس کلوین و سلسیوس در مبدا دمايي بوده و بايد دقت داشت که فاصله درجه‌ها با هم یکی است. $\Delta T = \Delta \theta$ همین دلیل؟

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ($\Delta T = \Delta \theta$).

$$\Delta T = T_r - T_i = \theta_r + 273 - (\theta_i + 273) = \theta_r - \theta_i = \Delta \theta$$

$$T = \theta + 273$$



یکای رایج دیگر دما که هنوز هم در صنعت و هواشناسی کاربرد دارد، فارنهایت است. شکل ۴-۴ مقایسه‌ای از این سه یکای دما را نشان می‌دهد. با کمی دقت متوجه می‌شویم که رابطه مقیاس دمای فارنهایت (F) و سلسیوس (θ) به صورت $F = \frac{9}{5}\theta + 32$ است.

$$\frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{\theta - 0}{100 - 0} \Rightarrow F = 1.8\theta + 32$$

 رابطه مقیاس فارنهایت و مقیاس سلسیوس

تمرین ۲-۴

الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً 37°C است. این دما را برحسب کلوین و فارنهایت بنویسید.
 ب) گرم‌ترین نقطه روی زمین، ناحیه‌ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود 7°C و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا -89°C گزارش شده است. این دماها را برحسب کلوین و فارنهایت به دست آورید. **ب) خودتان حل کنید.**

الف $T = \theta + 273 \Rightarrow T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$

$F = 1.8\theta + 32 \Rightarrow F = 98.4^\circ\text{F}$

برای یکای کلوین علامت درجه گذاشتن نیست.

فعالیت ۱-۴

 -194°C

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

دماسنج‌های معیار^۱: امروزه از انواع دماسنج‌ها در زندگی روزمره استفاده می‌شود. برخی از آنها در شکل‌های ۴-۵ نشان داده شده است.



(ب) دماسنج تابشی که بر اساس آشکارسازی شدت تابش گرمایی کار می‌کند.

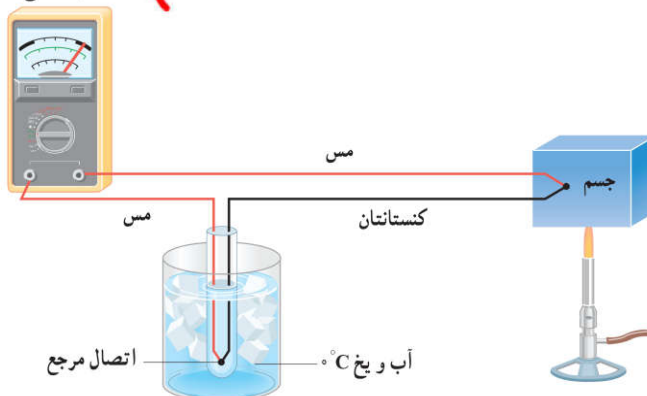


(الف) برخی از دماسنج‌ها که در اطراف خود مشاهده می‌کنید.

شکل ۴-۵

دانشمندان برای کارهای علمی، سه دماسنج را به عنوان دماسنج‌های معیار برای اندازه‌گیری گستره دماهای مختلف پذیرفته‌اند: دماسنج گازی، دماسنج مقاومت پلاتینی و تفسنج (بیرومتر). یکی از دماسنج‌های مهم دیگر که تا پیش از سال ۱۹۹۰ میلادی جزو دماسنج‌های معیار شمرده می‌شد، دماسنج ترموکوپل است که به دلیل دقت کمتر آن نسبت به دماسنج‌های بیان شده، از مجموعه دماسنج‌های معیار کنار گذاشته شد؛ ولی این دماسنج همچنان کاربرد فراوانی در صنعت و آزمایشگاه‌ها دارد. از این رو، در ادامه به معرفی این دماسنج می‌پردازیم. کمیت دماسنجی این دماسنج، ولتاژ است. نمونه‌ای طرح‌وار از این دماسنج در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.

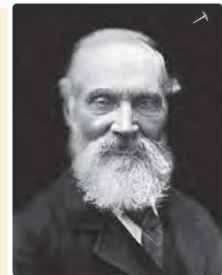
ولت سنج



@mrgrazeae

@mrphysic123

شکل ۴-۶ طرحی از یک دماسنج ترموکوپل

ویلیام تامسون کلون^۲

ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و مهندس بریتانیایی در سال ۱۸۲۴ م. 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 کلون 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 کلون زاده شد، مقدار -267 را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلون، به اسم او نام گذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لُرد کلون ملقب شد و اولین دانشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لُردها راه یافت. کلون در سال ۱۹۰۷ م. در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

۱- Standard Thermometer

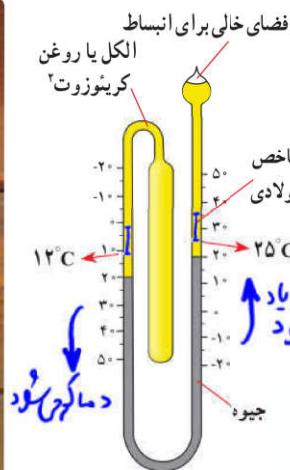
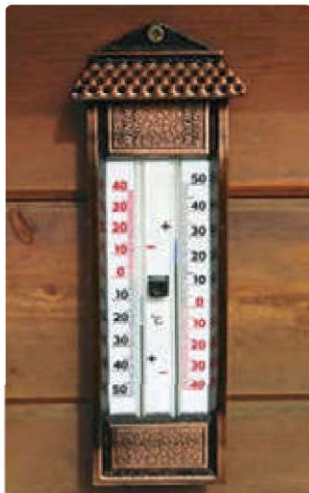
۲- William Thomson Baron Kelvin



شکل ۴-۷ 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^۱ است، گستره دماسنجی از -27°C تا 1372°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 ۴-۷ روشی از اندازه‌گیری دما با دماسنج‌هایی از این دست را نشان می‌دهد.



نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که پیشینه و کمیته دما را در یک مدت زمان معین نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه - کمیته 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.

- ① دمای کار در حال حاضر نشان می‌دهد 20°C است
- ② شش‌های فولاد بالا در روند ولی پایه نمی‌آیند.
- ③ قسمت پایین شش‌های فولاد را در حواص

۴-۲ انبساط گرمایی

@mrgrazae
@mrphysic123



شکل ۴-۸ 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 ۴-۸)، 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 & ۵٪ Al) Almel آلیاژ آلومل - ۱

۲- creosote

الف) برای اینکه اب ط و انقباضی آن‌ها گاهنگ بوده و برای قرارگرفتن صحیح کلید در قفل مشکلی ایجاد نشود.

ب) به دلیل اینکه اب ط در ترمای آن‌ها گاهنگ بایکدیگر نبوده و تغییرات بعد از آن‌ها متفاوت است.

پرسش ۴-۱

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

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.



(الف)



۱) شکل (الف) تصویری واقعی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه آهن) های قدیمی را در گذشته نشان می دهد. اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نمی بود، چه مشکلی پیش می آمد؟

این نوع انبساط طولی: میله‌ای فلزی به طول اولیه L_0 را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازه ΔT افزایش دهیم، تجربه نشان می‌دهد که طول میله به اندازه $\Delta L = L_0 - L_1$ افزایش می‌یابد (شکل ۴-۹).

* یک سی فلزی
* یک میلی فلزی

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، ΔL را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (2-4)$$

به α ضریب انبساط طولی می گویند که به جنس میل به بستگی دارد. البته مقدار کمی (ناچیز) با دما بستگی دارد.

از آنجا یکای α ، برکلوین ($1/K$) یا بر درجه سلسیوس ($1/^\circ C$) تعیین می شود.

$$\alpha \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_C} \right)$$

$\alpha \Delta T$
L'etendue

$$\Delta T = \Delta \theta$$

ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۱-۴ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای α در جدول بسیار کوچک است. همچنین ضریب انبساط طولی α 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.

جدول ۱-۴ ضریب انبساط طولی برخی اجسام			
ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$	ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$
الماس	$1/2 \times 10^{-6}$	مس	17×10^{-6}
شیشه پیرکس	$3/2 \times 10^{-6}$	برنج	19×10^{-6}
شیشه معمولی	$9-12 \times 10^{-6}$	آلومینیم	23×10^{-6}
فولاد	$10-13 \times 10^{-6}$	سرب	29×10^{-6}
بتون	$10-14 \times 10^{-6}$	یخ ($^{\circ}C$)	51×10^{-6}

مثال ۱-۴

طول یک پل معلق (شکل الف)، در پایین ترین دمای منطقه $15^{\circ}C$ 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:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta = 1200 \times 13 \times 10^{-6} \times 100 = 1.56 \text{ m}$$

$$\Delta \theta = 50 - (-50) = 100^{\circ}C$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (13 \times 10^{-6} / ^{\circ}C)(1200 \text{ m})(100^{\circ}C) = 1.56 \text{ m}$$

تغییر طول 1.56 m مقدار نسبتاً زیادی است. بدیهی است که در عمل نمی‌توان فضایی خالی به طول 1.56 m را برای این تغییر طول روی پل در نظر گرفت. برای رفع این مشکل از تعدادی **بست انبساطی** **انگشتی** 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

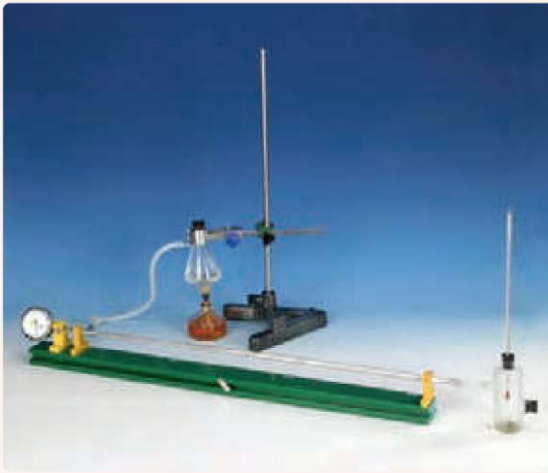


(الف) تصویری از یک پل معلق

۱- پل معلق فولادی مکیناک (Macinac) در میشیگان آمریکا

۲- Finger Expansion Joint

آزمایش 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 موردنظر 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 (θ_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 (θ_2).

۶- افزایش طول میله توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید (ΔL).

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.

*** چند مغل مهم ↓ ↓ ↓**

(دماسنج نواری دوفلزه: نوار دوفلزه (بی‌متال) از دو تیغه فلزی متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته شده است که سر تاسر 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.



$$\alpha_1 > \alpha_2$$

اگر نوار دوفلزه بالا گرم شود و دمای آن را افزایش دهیم:



و اگر دمای آن کاهش یابد:

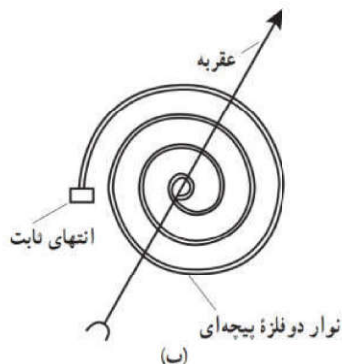


نوار دوفلزه زیر در اثر افزایش دما با این صورت درآمده است. ضریب انبساط فلزات را مقایسه کنید.

$$\alpha_1 > \alpha_2 \rightarrow \text{جواب}$$



(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

*** مهم:** α بزرگتر یعنی در اثر تغییرات دما، تغییر طول بزرگتر می‌شود. α بزرگتر طول بیشتر و α کوچکتر طول کمتر → کاهش دما

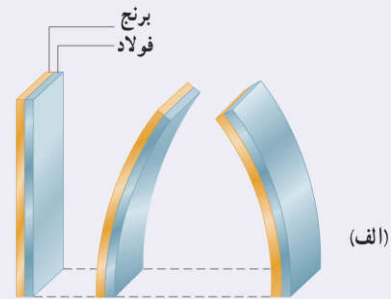
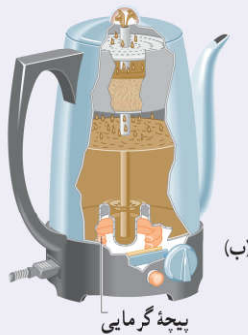
بهرات این جمله را با تحلیل یا بگیری
وضو دمان با نتیجه برسد

دماپا (ترموستات)

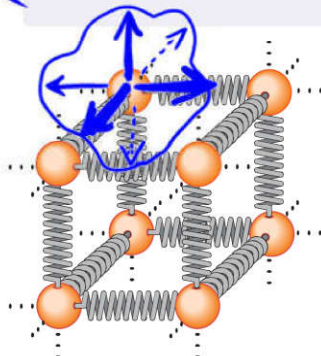
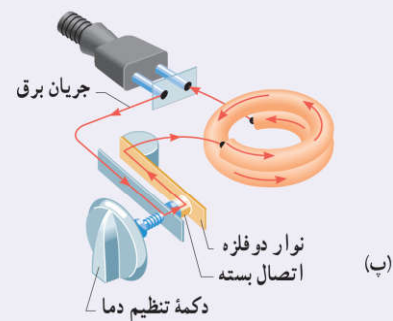
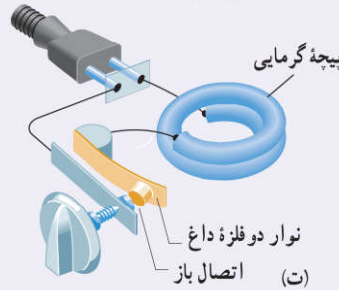
در دماسنج نواری دوفلزه دیدیم که یک نوار دوفلزه با افزایش یا کاهش دما خم می شود. این خم شدنی طوری است که در هنگام گرم شدن، تیغه با ضریب انبساط بیشتر، کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی را تشکیل می دهد (شکل ۱۱-۴ الف). از این ویژگی برای ساخت نوعی دماپا (ترموستات) استفاده می شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرم کن، 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 می شود. اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دماپا استفاده می شود. در مدار ساده نشان داده شده در شکل ۱۱-۴ پ، عبور جریان الکتریکی از کتری برقی باعث گرم شدن نوار دوفلزه می شود. وقتی دمای نوار به اندازه معینی برسد، بر اثر خم شدن نوار، جریان قطع شده و کتری برقی خاموش می شود (شکل ۱۱-۴ ت). با خاموش شدن کتری، دمای تیغه کاهش می یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی گردد و به این ترتیب، دوباره مدار وصل شده و کتری برقی روشن می شود.



@mrgrezaee
@mrphysic123



شکل ۱۱-۴ الف تیغه دوفلزه با تغییر دما در جهت های مختلفی خم می شود، (ب) دماپا در یک کتری برقی، (پ) با برقرار شدن جریان الکتریکی، نوار دوفلزه گرم می شود. (ت) سپس نوار خم شده و اتصال را قطع می کند.



شکل ۱۱-۴ در جامدها، نیروی بین اتمی مثل فنر عمل می کند.

توجیه انبساط گرمایی، مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصله بین اتم ها یا مولکول های تشکیل دهنده آن است. برای درک این مدل، چگونگی رفتار اتم ها در یک ماده جامد را در نظر بگیرید. همان گونه که در فصل ۳ دیدیم، می توان اتم ها را ذراتی در نظر گرفت که با فنر هایی به اتم های مجاور متصل شده اند (شکل ۱۱-۴). اتم ها پیرامون مکان های تعادل خود با دامنه کم، نوسان می کنند. می توان نشان داد با افزایش دمای جامد، فاصله متوسط بین اتم ها افزایش می یابد و در نتیجه، جسم جامد منبسط می شود.

* انبساط سطحی: این نوع انبساط بر روی اجسام در نظر گرفته می‌شود که سطح آن ثابت با ضخامت و نخی تغییر یافته. (صفحه یا ورقه فلزی توپری یا توخالی)

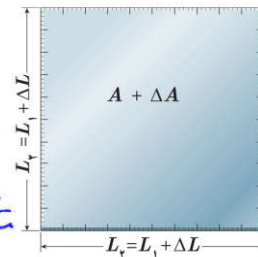
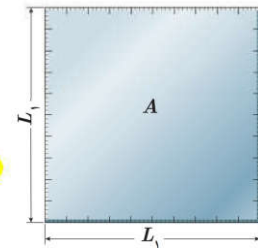
فصل ۱۴

(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 ΔT باشد، افزایش مساحتی به اندازه ΔA پیدا می‌کند (شکل ۴-۱۳). نشان داده می‌شود که این افزایش مساحت به طور تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$\Delta A = A_1 (\alpha) \Delta T$$

مساحت اولیه (مساحت اولیه)

تغییرات مساحت (تغییرات مساحت)

همون جا (همون جا)

$\alpha = \frac{1}{K} \text{ یا } \frac{1}{K} \text{ (ضریب انبساط طولی ماده سازه جسم)}$

در این رابطه، α ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای بر کلین ($1/K$) یا بر درجه سلسیوس ($1/^\circ C$) است، یکای ΔA و A_1 مترمربع (m^2) و یکای ΔT کلین (K) یا درجه سلسیوس ($^\circ C$) است.

شکل ۴-۱۳ انبساط گرمایی یک ورقه مربعی به ضلع $L = L_1$

فعالیت ۴-۲

ورقه‌ای فلزی و مستطیلی شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT ، طول اضلاع مستطیل به اندازه Δa و Δb افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α 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

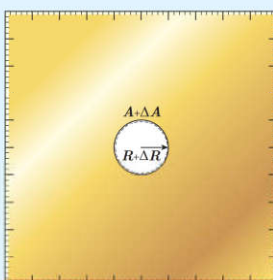
مساحت یک ورقه مسی 2500 cm^2 است. اگر دمای این ورقه را $5^\circ C$ افزایش دهیم، مساحت آن چقدر افزایش خواهد یافت؟

$$\alpha_{\text{مسی}} = 17 \times 10^{-4} \frac{1}{K}$$

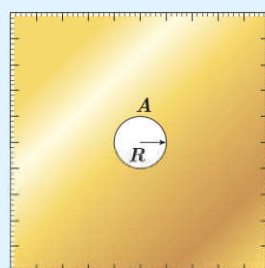
$$\Delta A = A_1 (\alpha) \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta A = 2500 \times 2 \times 17 \times 10^{-4} \times 5 = 41.25 \text{ cm}^2$$

تمرین ۴-۳



(ب)



(الف)

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 1 in درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه، $200^\circ C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟

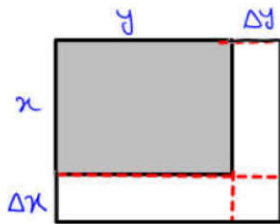
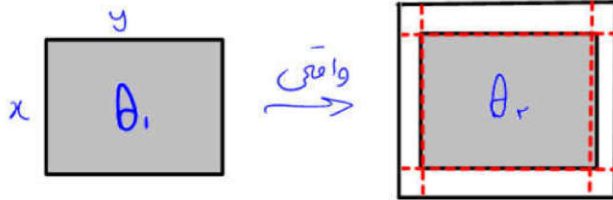
$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$\alpha_{\text{برنج}} = 19 \times 10^{-4} \frac{1}{K}, \pi = 3$$

$$\Delta A = A_1 (\alpha) \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta A = 75 \times 2 \times 19 \times 10^{-4} \times 200 = 57.6 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = \pi r^2 = 3 \times 2.5^2 = 75 \text{ cm}^2$$



$$A_1 = xy$$

$$A_2 = (x + \Delta x)(y + \Delta y) = xy + x\Delta y + y\Delta x + \Delta x\Delta y$$

$$\Delta A = x\Delta y + y\Delta x + \Delta x\Delta y$$

$$\Delta A - A_1 = x\Delta y + y\Delta x + \Delta x\Delta y$$

$$\Delta A = A_1(\alpha) \Delta \theta$$

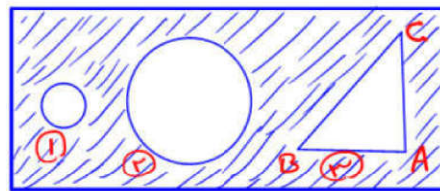
مفهوم نظر کنید

$$\Delta l = l_1 \alpha \Delta T$$

همونجا یا جا

$$\Delta A = A_1(\alpha) \Delta T$$

همونجا یا جا



★ دقت بفرمایید در حل مسائل

ابتدا طولی و ابدا ط سطحی

هرگاه تغییراتی از نوع طولی

یا از نوع سطحی از شما خواسته

شده، با احتیاط و توان از روابط مقابل با نتیجه رسید. چنانچه مثال

۱- اگر دما افزایش یابد ضلع BC چقدر تغییر می‌کند؟ چون از جنس طولیات، $\Delta l = l_1 \alpha \Delta T$

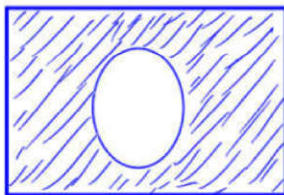
۲- قطر حفره ۲ چقدر تغییر می‌کند؟ قطر از جنس طولیات $\Delta l = l_1 \alpha \Delta T$

۳- محیط دایره ۱ چقدر تغییر می‌کند؟ $\Delta l = l_1 \alpha \Delta T$ محیط دایره محیط

۴- اگر دما افزایش یابد، فاصله دوضو چگونه تغییر می‌کند؟ افزایش می‌یابد.

۵- اگر دما افزایش یابد، مساحت حفره ۲ زیاد می‌شود یا کم می‌شود؟ به زیاد می‌شود.

★ در این سوالات باید دقت داشتیم که در اکثر تغییرات دما همه ابعاد **ب یک نسبت** تغییر می‌کنند.



۶- با توجه به شکل مقابل، اگر دما کاهش یابد، مساحت مستطیل چگونه تغییر می‌کند؟

$$\Delta A = A_1(\alpha) \Delta \theta \quad A_1 = \text{مساحت مستطیل}$$

۷- اگر دما افزایش یابد، مساحت قسمت رنگی چگونه تغییر می‌کند؟

$$\Delta A = A_1(\alpha) \Delta \theta \quad A_1 = \text{مساحت دایره - مساحت مستطیل}$$

مهم: در مسائل این فصل، اگر درصد تغییرات کمتر مطرح بود یا در مسائل داده شده بود،

از راهکار مقابل استفاده می‌کنیم:

$$\frac{\Delta x}{x_1} \times 100 = ?$$

$$\frac{\Delta l}{l_1} \times 100 = ?$$

$$\frac{\Delta V}{V_1} \times 100 = ?$$

$$\frac{\Delta A}{A_1} \times 100 = ?$$

در صورتی که جسمی حالت مایه‌ای (سیی) یا حالت ورقه‌ای (صفحه‌ای) نداشت، باید انبساط حجمی آن را بررسی کنیم.
 * انبساط طولی و انبساط سطحی را فقط برای جامدات، ولی انبساط حجمی را هم برای جامدها و هم برای مایعات بررسی می‌کنیم.

جدول ۴-۲ ضریب انبساط	
حجمی چند مایع در دمای حدود 20°C	
ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
جیوه	0.18×10^{-3}
آب	0.27×10^{-3}
گلیسرین	0.49×10^{-3}
روغن زیتون	0.70×10^{-3}
پارافین	0.76×10^{-3}
بنزین	1.00×10^{-3}
اتانول	1.09×10^{-3}
استیک اسید	1.10×10^{-3}
بنزن	1.25×10^{-3}
کلروفرم	1.27×10^{-3}
استون	1.43×10^{-3}
اتر	1.60×10^{-3}
آمونیاک	2.45×10^{-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 ΔT باشد، جسم افزایش حجمی به اندازه ΔV پیدا می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

ضریب انبساط حجمی $(\frac{1}{K})$

معادله تغییرات حجم جامد:
 $\Delta V = V_1 \beta \Delta T$
 از لحاظ علامت، از رابطه قبل استفاده می‌کنیم.

در این رابطه، β ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع است. یکای ΔV و V_1 مترمکعب (m^3)، یکای ΔT ، کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) و از آنجا یکای β ، بر کلوین ($1/K$) 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.

در مسائل برای مایعات فقط ضریب انبساط حجمی، یعنی β تعریف می‌شود. اما برای جامدها هم ضریب انبساط حجمی، مستقیم داده شده و گاهی ضریب انبساط طولی را آن دهنده‌اند و باید $\beta = 3\alpha$ را در نظر گرفت.

چون مایعات شکل معینی ندارند، انبساط آنها را فقط به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. در جدول ۴-۲ ضریب انبساط حجمی برخی مایعات داده شده است.

مثال ۴-۳

در یک روز داغ تابستان که دمای هوا 40°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°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 صرف نظر می‌شود).

پاسخ: با توجه به اینکه بنزین، زمان کافی برای هم‌دم شدن با محیط داشته است، دمای نهایی آن را 40°C در نظر می‌گیریم. اکنون با استفاده از رابطه ۴-۴ و جدول ۴-۲ برای ضریب انبساط حجمی بنزین خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (1.25 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C})(55\text{L})(40^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}) = 1.5\text{L}$$

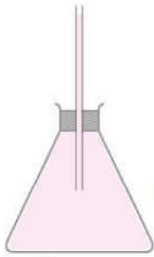
بنابراین، در کمال تعجب درمی‌یابیم که ۱/۵ لیتر بنزین روی زمین ریخته است.

توجه: $\beta > \alpha$

نکته مهم در استفاده از رابطه ۴-۴ این است که باید یکای ΔV 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 صرف نظر کرد.

$$\text{حجم مایه بیرون ریزد} + \left\{ \begin{array}{l} \text{در حالت جدید ظرف بزرگتر شود.} \\ \text{حجم فضای خالی جدید را بداند.} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} \text{حجم مایه بیرون ریزد} \\ \text{حجم مایه بیرون ریزد} \\ \text{حجم مایه بیرون ریزد} \end{array} \right.$$

مثال ۴-۴



ارلنی شیشه‌ای با ضریب انبساط طولی $10^{-6} \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ را که در دمای 20°C گنجایشی برابر با 200 cm^3 دارد، مطابق شکل با گلیسرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسرین را به 60°C برسانیم

الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟ ب) اگر پاسخ قسمت (الف) مثبت است، حجم گلیسرین سرریز شده چقدر است؟

پاسخ:

$$\Delta V_{\text{ظرف}} - \Delta V_{\text{گلیسرین}} = 200 - 194 = 6 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} = V_1 \beta \Delta \theta = 200 \times 30 \times 10^{-5} \times 40 = 24 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = V_1 (\alpha) \Delta \theta = 200 \times (3 \times 10^{-6}) \times 40 = 0.24 \text{ cm}^3$$

این با حجم اولیه معلوم (V_1) را از گلیسرین پر کرده و یک درپوشی همراه با پی روی آن و بندیم. مجموعه را گرم کرده و حجم مایه که از پی بیرون می‌ریزد را جمع و اندازه‌گیری کنیم. با استفاده از دماسنج، دمای آزمایش 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. اولیه و نهایی مجموعه را حساب کنید تا $\Delta \theta$ به دست آید. با کمک رابطه مقابل، β گلیسرین را به دست آوریم.

فعالیت ۴-۵

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 $\rho = \frac{m}{V}$ معیولی $\rightarrow$ $\begin{matrix} T \uparrow & V \uparrow & \rho \downarrow \\ T \downarrow & V \downarrow & \rho \uparrow \end{matrix}$

چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_r = \rho_1 / (1 + \beta \Delta T)$ است که در آن ρ_1 و ρ_r به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_1 و T_r ، β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_r - T_1$ است.

$$\rho_r = \frac{m}{V_r} \rightarrow \rho_r = \frac{m \rho_1}{V_1 (1 + \beta \Delta T)} \rightarrow \rho_r = \frac{\rho_1}{1 + \beta \Delta T}$$

$$\Delta V = V_1 \beta \Delta T \rightarrow V_r - V_1 = V_1 \beta \Delta T \rightarrow V_r = V_1 (1 + \beta \Delta T)$$

$$\rho_r = \frac{\rho_1}{1 + \beta \Delta T} \times \frac{1 - \beta \Delta T}{1 - \beta \Delta T} = \frac{\rho_1 (1 - \beta \Delta T)}{1 - \beta^2 \Delta T^2} \Rightarrow \rho_r \approx \rho_1 (1 - \beta \Delta T)$$

مثال ۴-۵

یک قطعه سرب را در دمای اتاق در نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را 20°C افزایش دهیم، چگالی آن چند برابر می‌شود؟

$$(\alpha_{\text{سرب}} = 29 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$$

$$\frac{\rho_r}{\rho_1} = \frac{\rho_1 (1 - \beta \Delta T)}{\rho_1} = 1 - \alpha \Delta T = 1 - 29 \times 10^{-6} \times 20 = 0.99824$$

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

رابطه چگالی با تغییرات دما به صورت مقابل است

بی صفر تا ۴ °C ≤ θ ≤ ۵ °C

برای تمام مواد، حتی آب و توان رفت

$T \uparrow$ $V \uparrow$ $\rho \downarrow$

$T \downarrow$ $V \downarrow$ $\rho \uparrow$

یک استثناء وجود دارد.

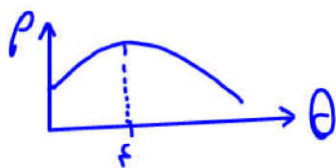
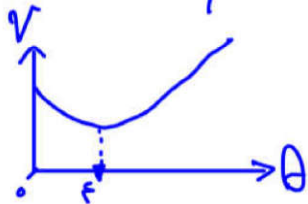
* برای آب، آن هم فقط

در محدوده دمایی ۴ °C ≤ θ ≤ ۵ °C

آب برعکس مواد دیگر رفتار می کند.

$T \uparrow$ $V \downarrow$ $\rho \uparrow$

$T \downarrow$ $V \uparrow$ $\rho \downarrow$



انبساط غیر عادی آب: در زمستان های سرد، سطح آب آبگیرها و دریاچه های کوچک یخ می زند

و به تدریج یخ ضخیم تر می شود. اما در ته آبگیرها، دمای آب بالاتر از ۴ °C بوده و برای موجودات

زنده ای که آنجا زندگی می کنند، نسبتاً گرم و مناسب است. در واقع حجم بیشتر مایع ها با کم شدن دما

کاهش و در نتیجه چگالی آنها افزایش می یابد، ولی رفتار آب در محدوده دمایی ۴ °C تا ۰ °C متفاوت

است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد.

شکل های ۴-۱۴ (الف) و (ب)، به ترتیب نمودار حجم بر حسب دما و نمودار چگالی بر حسب دما را

برای آب شیرین نشان می دهد که در آنها رفتار غیر عادی آب در محدوده ۴ °C تا ۰ °C دیده می شود.

همان طور که در این شکل ها نشان داده شده است، در بازه دمایی ۴ °C تا ۰ °C با افزایش دما، حجم

آب کاهش و چگالی آن افزایش می یابد. پس از دمای ۴ °C مانند دیگر اجسام، با افزایش دما، حجم

افزایش و چگالی کاهش می یابد. همین تغییر حجم غیر عادی آب است که موجب می شود دریاچه ها به

جای اینکه از پایین به بالا یخ بزنند، از بالا یخ بزنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از ۱۰ °C اندکی کمتر

شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می یابد و این آب، پایین می رود. این رفتار تا رسیدن

به دمای ۴ °C ادامه می یابد؛ ولی همان طور که دیدیم در دمای پایین تر از ۴ °C، حجم آب افزایش پیدا

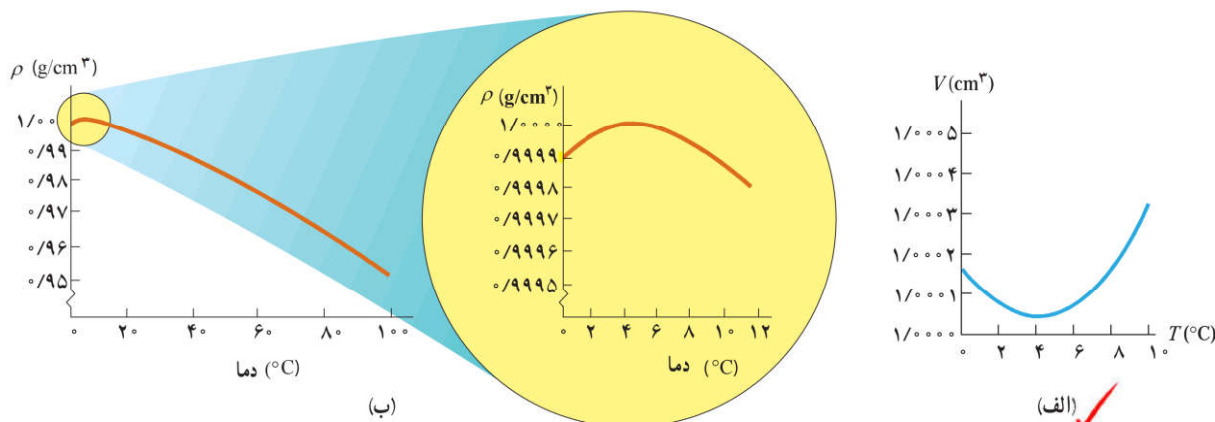
می کند و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد؛ یعنی سرد شدن بیشتر آب موجب می شود که چگالی آب

سطح دریاچه نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه یخ بزند. بنابراین،

در حالی که آب زیر دریاچه هنوز مایع است و دمایی بیش از صفر درجه دارد، سطح آب یخ می زند.

اگر آب دریاچه ها از پایین به بالا یخ می زد، اثرات زیست محیطی زینباری در بی داشت و حیات گیاهی

و جانوری در عمق دریاچه ها از بین می رفت.



شکل ۴-۱۴ (الف) تغییرات حجم یک گرم آب (شیرین) با دما، (ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما

@mrgrzaee
@mrphysic123

*** تعریف انرژی گرمایی:** یک نوع انرژی انتقالی است که وقتی دو قسمت با هم اختلاف دما داشته باشند، از دمای بالاتر به دمای پایین‌تر منتقل می‌شود. انرژی گرمایی با Q نمایش داده شده و یکای آن در SI مثل تمام انرژی‌های دیگر، ژول (J) نامیده می‌شود.

۳-۴ کولم

*** هر چه اختلاف دما بیشتر باشد، سرعت (آهنگ) تبادل انرژی گرمایی بیشتر است**



شکل ۱۶-۱۵ نمونه‌ای از آزمایش ژول: در این آزمایش نشان داده می‌شود کار نیروی وزن برابر با مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب است.

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^۱ (۱۷۵۳ تا ۱۸۱۴م) و جیمز پرسکات ژول^۲ (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.

برابر می‌شود می‌توان گفت
جسم دارای دما به انرژی گرمایی است.

توجه کنید اشاره کردن به گرمایی 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 ($1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$).

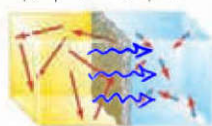
وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، آنچه که اتفاق می‌افتد کاهش انرژی‌های پتانسیل و جنبشی مربوط به حرکت‌های کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای میکروسکوپی داخل جسم گرم، و افزایش همین انرژی‌ها در داخل جسم سرد است تا آنکه دو جسم به تعادل گرمایی برسند (شکل ۱۶-۴).

یعنی هم دما می‌شوند!

جسم گرم (دمای بیشتر)



پیش از تعادل گرمایی
جسم سرد جسم گرم



پس از تعادل گرمایی



دمای دو جسم یکسان می‌شود.

جسم سرد (دمای کمتر)



شکل ۱۶-۱۷ 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.

*** دمای یک جسم، متناسب است با متوسط انرژی جنبشی ذرات سازنده آن جسم.**

۱- Sir Benjamin Thomson, Count Rumford

۲- James Prescott Joule

الف) وقتی دماسنج در یک محیط قرار گیرد یا با جسی تماس داده می‌شود، تبادل گرمایی کرده و دمای آن عوض خواهد شد تا اینکه به از مدت با محیط یا جسم مورد نظر به تعادل رسیده و علاً کلم دمای آن را نشان دهد و هم دمای خود را.

پرسش ۴-۲

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

- X (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؟
- X (پ) در شکل ۱۶-۴ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟

@mrgrazeae
@mrphysic123

ظرفیت گرمایی: اگر یک پارچ آب سرد را از داخل یخچال بیرون آوریم و در اتاق قرار دهیم، آب از محیط خود، گرما می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود. آزمایش نشان می‌دهد که گرمای گرفته‌شده توسط آب با تغییر دمای آب، متناسب است؛ یعنی هرچه آب سردتر باشد، مقدار گرمایی که می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود، بیشتر است. بنابراین، اگر جسمی با محیط اطراف خود گرمای Q را مبادله کند و در اثر این مبادله گرما، دمایش به اندازه ΔT تغییر کند، Q متناسب با ΔT است که ضریب

این تناسب را با C نشان می‌دهند، به طوری که: $(\frac{J}{K} \text{ یا } \frac{J}{^\circ C})$ ظرفیت گرمایی (J) مبادله‌شده توسط جسم

$Q = C \Delta T$ تغییر دمای ایجادشده در جسم $(K \text{ یا } ^\circ C)$ $(6-4)$

* وقت جسمی انرژی گرمایی (Q) مبادله‌کننده، دمای آن تغییر (ΔT) خواهد کرد.

بزرگ‌نویس می‌شود.

* معنی

ظرفیت گرمایی (C)

هم با جنس و هم با جرم ماده بستگی دارد.

به C ، ظرفیت گرمایی جسم گفته می‌شود که به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. در رابطه ۶-۴ یکای Q ، ژول (J) و یکای ΔT ، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای C ، ژول بر کلوین (J/K) می‌شود. وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم J/K ۲۰۰۰ است، یعنی اگر به آن جسم J ۲۰۰۰ گرما بدهیم، دمای آن $1 K$ 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 ۱۷-۴).

$(\frac{J}{K} \text{ یا } \frac{J}{^\circ C})$ ظرفیت گرمایی

جسم

ظرفیت گرمایی ویژه $(\frac{J}{kg K} \text{ یا } \frac{J}{kg ^\circ C})$

$C = mc$

شکل ۱۷-۴ تصویری از سواحل قسم. آب دریا به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی زیاد، دمای هوا را متعادل نگه می‌دارد، اما دمای خودش تغییر محسوسی نمی‌کند.



* آب دریاچه‌ها یا دریاها به دلیل داشتن جرم زیاد، ظرفیت گرمایی بالایی دارند. یعنی برای آنکه دمای آنها تغییر کند باید گرمای بسیار زیادی را مبادله کنند. به همین دلیل می‌توان آن را چشمه گرمایی در نظر گرفت.

*** گرمای ویژه (خاصیت گرمایی ویژه)**، خاص و ویژه یک ماده بوده و براس واحد جرم آن تعریف می‌شود.

① با c کوچک‌ساز می‌دهد می‌شود.
 ② با جرم بستن ندارد. با جرم و دما بستگی دارد.

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 یکای جرم اجسام را تعریف کنیم که به آن ظرفیت گرمایی ویژه یا به سادگی **گرمای ویژه** می‌گویند. گرمای ویژه را با c نشان می‌دهند و طبق تعریف، رابطه‌اش با ظرفیت گرمایی به صورت $c = C/m$ است. در نتیجه رابطه $c = 4-6$ چنین می‌شود:

*** مهم** ← در شرایطی که دما تغییر نکند، اگر گرمای Q به یک جسم داده شود، آن جسم گرمای Q را به دست می‌دهد.

ظرفیت گرمایی ویژه $(J/kg \cdot K)$ یا $(J/kg \cdot ^\circ C)$

تغییرات دما (K) یا $(^\circ C)$

جرم (kg)

گرمای ویژه $(J/kg \cdot K)$

اگر جسم گرمای Q را به دست می‌دهد، $Q < 0$

اگر جسم گرمای Q را به دست می‌گیرد، $Q > 0$

در رابطه $4-6$ یکای Q ، ژول (J) و یکای m ، کیلوگرم (kg) و یکای ΔT ، کلون (K) است؛ بنابراین، یکای c در SI، ژول بر کیلوگرم - کلون (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 $3-4$ داده شده است. در این جدول گرمای ویژه آلومینیم $900 J/kg.K$ است؛ یعنی برای اینکه دمای $1 kg$ آلومینیم را به اندازه $1 K$ افزایش دهیم، باید به آن $900 J$ گرما بدهیم.

مفهوم اینکه $c = 4200 \frac{J}{kg \cdot K}$ است، یعنی برای اینکه دمای $1 kg$ آب به اندازه $1 K$ (یا $1^\circ C$) تغییر کند، باید $4200 J$ انرژی گرمایی مبادله شود.

مثال 4-6

مقدار $2 L$ آب با دمای $20^\circ C$ در اختیار داریم. چقدر گرما لازم است تا دمای این آب را به نقطه جوش آن (در دمای $100^\circ C$) برسانیم؟ $(c_{\text{آب}} = 4200 \frac{J}{kg \cdot K}$ و $\rho_{\text{آب}} = 1 \frac{kg}{L})$

$$Q = mc\Delta\theta \quad \rightarrow \quad Q = 2 \times 4200 \times 80 = 672000 J$$

$$\Delta\theta = 100 - 20 = 80^\circ C$$

$$m = \rho V = 1 \times 2 = 2 kg$$

جدول 3-4 - گرمای ویژه برخی از مواد *	
ماده	گرمای ویژه (J/kg.K)
سرب	128
تنگستن	134
نقره	236
مس	386
آلومینیم	900
برنج	380
نوعی فولاد (آلیاژ آهن با 2٪ کربن)	450
فولاد زنگ‌زن	490
گرانیت	790
بتون	800
شیشه	840
یخ (در دمای $-5^\circ C$)	2100
جیوه	140
اتانول	2430
آب دریا	3900
آب	4187

* تمام مواد غیر از یخ در دمای $20^\circ C$

فناوری و کاربرد

استفاده از آب در دستگاه‌های گرم‌کننده و خنک‌کننده:

در جدول $3-4$ 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 ۱۸-۴ تصویری از سیستم خنک کننده خودرو

می‌دهد و بار دیگر، از طریق لوله‌های برگشت، به مخزن برمی‌گردد و در هر چرخه باز همین عمل تکرار می‌شود. از آب برای خنک کردن موتور خودروها نیز استفاده می‌شود (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 می‌کند و گرما را از موتور به رادیاتور خودرو می‌برد. در اثر عبور هوا از میان پره‌های رادیاتور، هوا با آب درون رادیاتور تبادل گرمایی می‌کند، آب انرژی خود را از دست می‌دهد و دوباره به موتور برمی‌گردد و این عمل تکرار می‌شود.

پوش ۳-۴



گوی‌ها بسته به جنس خود، ورقه پارافین را در

زمان‌های متفاوت ذوب می‌کنند.

چند گوی فلزی از جنس‌های مختلف، مثلاً از آلومینیم، فولاد، برنج، مس، سرب و ... را اختیار می‌کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی‌ها را توسط ریسمان‌هایی داخل ظرف آبی قرار می‌دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقه پارافین قرار می‌دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیکدان ایرلندی،

جان تیندال^۱ (۱۸۹۳-۱۸۲۰م.) طراحی و اجرا کرد. همه گوی‌ها دمای اولیه 100°C بوده و چون با پارافین به تعادل گرمایی می‌رسند، دمای نهایی آن‌ها نیز یکسان است. بنابراین ۵۵ گرم آن‌ها برابر می‌شود. حال باید گفت آن گوی که برای رسیدن به دمای تعادل گرمایی بیشترین انرژی را از دست داده، پارافین بیشتری ذوب کرده و طبق رابطه $Q = mc\Delta T$ چون جرم آن‌ها یکسان بوده و ظرفیت گرمایی ویژه آلومینیم^۲ بقیه بیشتر است، بنابراین آلومینیم، مقدار پارافین بیشتری را ذوب می‌کند.

خوب است بدانید

گرمای ویژه مولی: وقتی مقدار ماده به جای جرم برحسب مول بیان شود باید به جای ظرفیت گرمایی واحد جرم از ظرفیت گرمایی واحد مول استفاده کنیم که به آن ظرفیت گرمایی مولی یا **گرمای ویژه مولی** گفته می‌شود. در واقع گرمای ویژه مولی یک ماده، مقدار گرمایی است که باید به یک مول از آن ماده بدهیم تا در شرایط فیزیکی تعیین شده، دمای آن 1K افزایش یابد. اگر گرمای ویژه مولی مواد بلورین مختلف را با هم مقایسه کنیم (در حجم ثابت)، به نظم شگفت‌انگیزی پی می‌بریم و درمی‌یابیم برای بیشتر فلزها، مقدار آن تقریباً مساوی با $25\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ است^۲. این نظم با آنکه تقریبی است به نام قاعده «دولن و پتی»^۳ مشهور است که بیان می‌دارد گرمای لازم برای بالا بردن دمای یک مول از هر کدام از این فلزها، مقدار یکسانی است و به جنس آنها بستگی ندارد.

^۱ John Tyndall

^۲ محدوده دمایی برای فلزات مختلف، متفاوت است. مثلاً برای مس از 500°C تا 700°C کلین است.

^۳ Rule of Dulong-Petit

* وقتی چند جسم در شرایط تبادل گرمایی با هم قرار گیرند، تا زمانی که اختلاف دما داشته باشند، انرژی گرمایی بین آن‌ها مبادله می‌شود. تا جایی که دما در آن‌ها برابر شده و اصطلاحاً «تکویم مجعده» به تعادل گرمایی رسیده است.

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:



@mrgrezaee
@mrphysic123

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

* از رابطه قابل برابری آید
دمای تعادل استفاده می‌کنیم. (۴-۸)

این رابطه از قانون پایستگی انرژی نتیجه می‌شود.

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 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 θ را از آن محاسبه کرد.

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (4-9)$$

مثال ۴-۷

شخصی 3 kg آب 70°C را در یک لیوان آلومینیومی 12°C کیلوگرمی که دمای آن 20°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. ($c_{\text{آب}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, $c_{\text{Al}} = 900 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$)

$$Q_{\text{AL}} + Q_{\text{آب}} = 0$$

$$m c (\theta - \theta_1) + m c (\theta - \theta_2) = 0$$

$$12 \times 900 \times (\theta - 20) + 3 \times 4200 \times (\theta - 70) = 0$$

$$4\theta - 12 + 7\theta - 490 = 0 \rightarrow \theta = \frac{502}{11} \approx 77^\circ \text{C}$$

دو تن دقت بنویسید در این سوالات ساده کردن ها را خودتان انجام دهید
چون هم سلیقه است و هم اینکه با مرور مسلط شوید.

دما و گرما

مثال ۴-۸

در ظرف عایقی حاوی 500 kg آب 20°C یک قطعه مس 100 kg کیلو گرمی به دمای 52°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم 15 kg و به دمای 42°C و گرمای ویژه نامعلوم می اندازیم و دمای تعادل را اندازه می گیریم. دمای تعادل 22°C شده است. با چشم پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را حساب کنید. $(C_{\text{آب}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}, C_{\text{مس}} = 420 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}})$

نکته: اگر ظاهر جبهه های یک بود، m و C نیازی نیست
حتما یکی SI باشد، اما حتما همه
آن ها با یکی یکسان باشند.

$$Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{مس}} + Q_{\text{آب}} = 0$$

$$mc(\theta - \theta_1) + mc(\theta - \theta_1) + mc(\theta - \theta_1) = 0$$

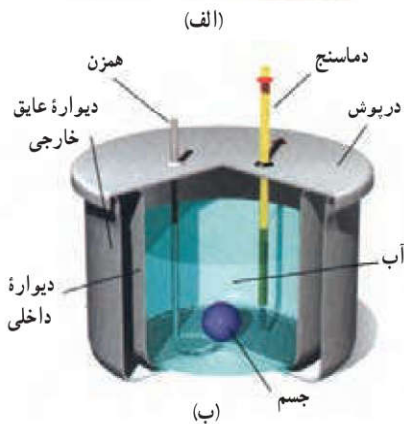
$$15 \times 420 \times (22 - 42) + 100 \times 420 \times (22 - 52) + 500 \times 4200 \times (22 - 20) = 0$$

$$V_{500} - 200 - C = 0 \rightarrow C = 500 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

تمرین ۴-۵

جسمی به جرم 250 kg و دمای 3°C را درون ظرف عایقی حاوی 500 kg آب 25°C می اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می گیریم. دمای تعادل 21°C می شود. گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم پوشی کنید. $(C_{\text{آب}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}})$

جواب آخر: $C = 1844 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$



شکل ۱۹-۱۹ (الف) عکسی واقعی و (ب) طرحی از نمای داخلی یک گرماسنج

گرماسنج و گرماسنجی گرماسنج که به آن کالری متر نیز می گویند شامل ظرفی است در پوش دار که به خوبی عایق بندی گرمایی شده است (شکل ۴-۱۹). این ظرف در آزمایش های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام، به کار می رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می ریزیم و پس از هم دما شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می گیریم. سپس جسمی را که می خواهیم گرمای ویژه اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیه آن معلوم است، درون گرماسنج قرار می دهیم. آنگاه به کمک همزن آب را به هم می زنیم تا مجموعه سریع تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می گیریم. با استفاده از رابطه های (۴-۸) و (۴-۹) و با چشم پوشی 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 می توانیم 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 می کنند.

معمولاً در مسائل اینگونه است.

مثال ۴-۹

برای اندازه گیری گرمای ویژه فلزی با جنس نامعلوم، قطعه‌ای $۰/۶۰۰$ کیلو گرمی از آن را تا ۹۲°C گرم می‌کنیم و سپس آن را در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی $۱/۸۰ \times 10^2 \text{ J/K}$ که حاوی $۰/۵۰۰ \text{ kg}$ آب با دمای اولیه ۱۷°C است، می‌اندازیم. اگر دمای نهایی مجموعه ۲۰°C شود، گرمای ویژه این فلز چقدر است؟ $(C_p = 420 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}})$

* چون گفت گرماسنج حاوی آب ۱۷°C هست، یعنی دمای اولیه آن هم ۱۷°C هست.

$$Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{گرماسنج}} + Q_{\text{آب}} = 0$$

* داریم سوال چون $Q_{\text{گرماسنج}} = C\Delta\theta$ و $Q_{\text{آب}} = mc(\theta - \theta_1)$ باید m ، C را با یوازی SI جایگزین کنیم.

$$12 \times 420 \times (20 - 17) + 180 \times (20 - 17) + 1 \times C \times (20 - 92) = 0$$

$$3500 + 300 - 24C = 0 \rightarrow C = \frac{3800}{24} \approx 158 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$$

آزمایش ۴-۲



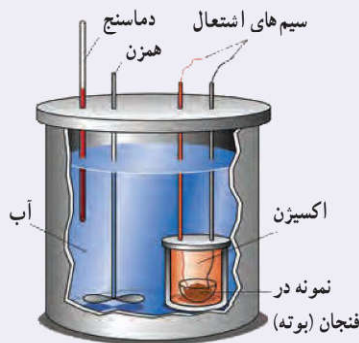
هدف: تعیین گرمای ویژه فلزی با جنس نامعین

وسایله‌های مورد نیاز: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، بشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه پایه و شعله پخش کن، 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

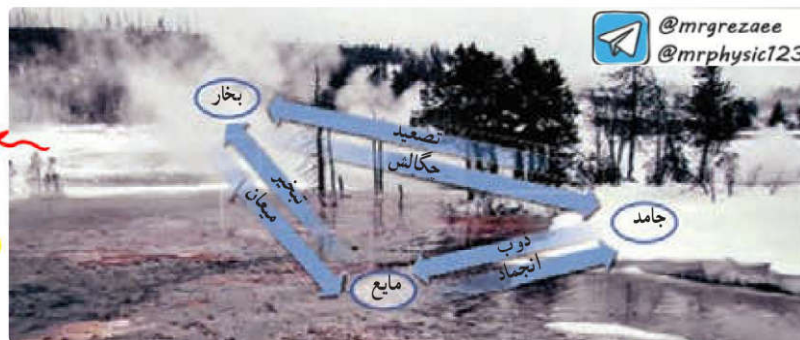
گرماسنج بمبی^۱: گرماسنج بمبی نوعی گرماسنج است که از آن برای تعیین ارزش غذایی مواد با اندازه‌گیری انرژی آزاد شده آنها در حین سوختن استفاده می‌شود. نمونه‌ای که جرم آن به دقت اندازه‌گیری شده است در ظرف سرپسته‌ای که محتوی اکسیژن است (که اصطلاحاً به آن بمب گفته می‌شود) قرار داده می‌شود (شکل ۴-۲). سپس این 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 موردنظر را به دست می‌آورند که تقریباً معادل انرژی آزادشده 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)^۲ 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 همراهند.

★ نام فرآیندها مهم است.

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، **تصفید** 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.

فرآیندهای تصفید و چگالش فقط در حد تعریف آن‌ها وجه تمایز بررس می‌شود، اما در مورد فرآیندهای ذوب و انجماد و تبخیر و میعان در کتاب با جزئیات بیشتری بحث شده است.

این متنی خیلی جالبی طراحی سوال دارد!

★ **(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.



شکل ۴-۲۲ تصویری از یخ در حال ذوب

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 سبب 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. ★

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.

دلیل تفاوت آن‌ها در فرایند تشکیل است.
برف، تبدیل مستقیم بخار به جامدات (مُلّا یا چُلّاگی)
یخ، تبدیل مایع به جامدات. (انجماد)

خوب است بدانید



اسپری کردن باغ‌های میوه: گاهی اوقات گیاهان را با آب اسپری می‌کنند تا آنها را از یخ‌زدن در سرمای سخت محافظت کنند. این محافظت ناشی از لایه یخی نیست که روی گیاه تشکیل می‌شود. این محافظت ناشی از فرایندهایی است که پس از نشستن آب روی گیاه رخ می‌دهند؛ یعنی فرایندهایی که در آنها آب تا نقطه انجماد سرد می‌شود و سپس یخ می‌بندد. لازمه هر دو فرایند این است که آب به گیاه گرما بدهد. انرژی که به گیاه و سپس به هوا

$Q = + m l_f$
 (J) دوب انجماد حجم (kg)

← گرمای که ماده مبدل می‌کند تا فرآیند دوب یا انجماد بر آن اتفاق بیفتد.

→ گرمای نهان ویژه دوب یا انجماد $(\frac{J}{kg})$

l_f (گرمای نهان ویژه): مقدار گرمایی است که ۱ kg از جسم جامد که در دمای دوب یا انجماد خود دارد، مبدل می‌کند تا فرآیند دوب یا انجماد بر آن اتفاق افتد. به جنس ماده بستگی دارد.

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^۱.

$$L_F = \frac{Q}{m} \quad (۴-۱۰)$$

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 را برای

برخی از مواد در جدول ۴-۴ داده شده است.

فعالیت ۴-۷

تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری بر نقطه انجماد آن دارد. نقطه انجماد (دمای انجماد) را کاهش می‌دهد.

۱- اندیس F حرف اول واژه انگلیسی «Fusion» است که بیشتر به معنای ذوب به کار می‌رفت. با اینکه هم‌اکنون از واژه «melting» برای ذوب استفاده می‌شود، همچنان از F برای

نشان دادن ذوب استفاده می‌گردد.

مثال ۴-۱۰



فلز گالیم (Ga) یکی از چند عنصری است که در دماهای پایین ذوب می‌شود. دمای ذوب این فلز 29.8°C و گرمای نهان ذوب آن 80.4 kJ/kg است. یک قطعه 10% 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).

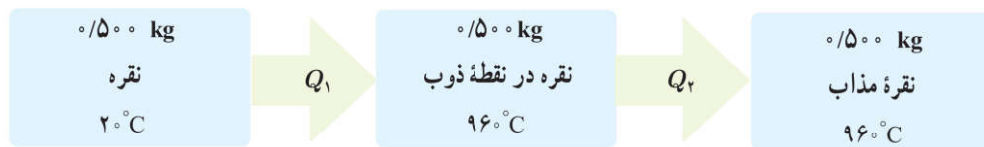
پاسخ: با استفاده از رابطه ۴-۱۰ داریم:

$$Q = mL_F = (10\% \times 10^{-3} \text{ kg})(80.4 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 80.4 \text{ J}$$

مثال ۴-۱۱

یک جواهرساز برای ساختن جواهری می‌خواهد از 500 g 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°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

$$Q_1 = m_{\text{نقره}} c_{\text{نقره}} \Delta\theta = (500 \text{ g})(236 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(960^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 1.11 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q_2 = m_{\text{نقره}} L_F = (500 \text{ g})(88.3 \text{ kJ/kg}) = 44.2 \times 10^3 \text{ J}$$

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:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1.11 \times 10^5 \text{ J} + 44.2 \times 10^3 \text{ J} = 1.55 \times 10^5 \text{ J} = 155 \text{ kJ}$$

آزمایش ۴-۳

هدف: تعیین گرمای نهان ذوب یخ

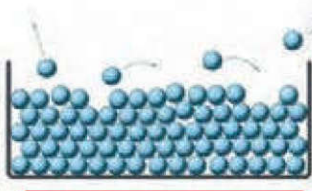
وسایله‌های مورد نیاز: بشر شیشه‌ای با حجم 400 cm^3 ، چراغ گازی، سه پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

شرح آزمایش:

- ۱- 200 cc آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به 60°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 g را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای 0°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.

★ فرآیند تبخیر { ① تبخیر سطحی: در دو دمای اتفاق افتاد و فقط مولکول‌های روی سطح مایع در آن شرکت دارند. تبخیر دو نوع است: ② تبخیر نامرئز جوشیدن: فقط در دمای صوبی اتفاق افتاده و کل ماده در آن شرکت دارند.

★ (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 گفته می‌شود. تا پیش از رسیدن به نقطه جوش مایع، تبخیر به طور 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.) ★



شکل ۴-۲۳ در حین تبخیر سطحی مولکول‌های مایع برای فرار از سطح مایع می‌گریزند.

فعالیت ۴-۸

الف) با افزایش دما جزیی مولکول‌های مایع بیشتر شده
الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع و تبخیر سطحی سریع‌تر اتفاق افتاده. همچنین با افزایش چگونه بر آهنگ تبخیر سطحی مایع اثر می‌گذارد؟ سطح مایع، تعداد مولکول‌های بیشتری شرایط خروج از سطح را داشته و تبخیر سریع‌تر انجام می‌گیرد.
ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا ب) فشار هوای محیط و وزنی باد عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند. فشار هوای کمتر و وزنی باد سریع‌تر، باعث افزایش تبخیر سطحی می‌شوند.
پ) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خنک کنند. پ) مقدار آب با دیواره‌های کوزه مقدار کوزه‌ها را خنک می‌کند. در این تبخیر سطحی، چون آب در کوزه گراگرت و سرد می‌شود، باعث خنک شدن آن خواهد شد. حال اگر کوزه در یک سایه قرار داشته و وزنی باد هم وجود داشته باشد، آب داخل کوزه خنک‌تر می‌شود.

خوب است بدانید



تعریق و تنظیم دمای بدن: برای جانوران بزرگ جثه، نسبت مساحت سطح بدن - که از آن گرما تلف می‌شود - به حجم داخلی بدن - که در آن گرما تولید می‌شود - نسبتاً کم است. بنابراین، آنها غالباً دستگاه‌های ویژه‌ای برای خلاص شدن از این گرمای ناخواسته دارند؛ مثلاً سگ‌ها با نفس نفس زدن و خرگوش کوهی که در تصویر نشان داده شده است، با فرستادن خون به گوش‌های نازک، بزرگ و پراز مویرگ خود این گرمای ناخواسته را از دست می‌دهند. بدن انسان‌ها به گونه‌ای دیگر عمل می‌کند و با عرق کردن گرما از دست می‌دهد. در واقع عرق کردن سبب می‌شود که لایه‌ای روی پوست بدن تشکیل شود. این لایه آب با جذب گرمای مورد نیاز برای تبخیر سطحی از بدن، بدن را خنک می‌کند.



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^۳ 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 فرو می‌پاشند 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 «غلغل کردن» می‌گویند فرو می‌پاشند (شکل ۴-۲۴). در این حالت است که می‌گوییم آب به «جوش کامل» رسیده است و

۱ - Vaporization
۳ - Boiling

۲ - Evaporation

در فرایند جوشیدن آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دماستحی که مخزن آن درون آب قرار دارد دمای ثابتی

را نشان می‌دهد که برای آب خالص در فشار جو متعارف (۱atm)، 100°C است. در جوشیدن، کل

مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی

و به فرایند تبخیر در نقطه جوش، اصطلاحاً جوشیدن می‌گویند، در حالی که هر دو فرایند، تبخیرند.

$Q = +mL_v$
 (J) (kg) (J/kg)
 گرمای تبخیر یا میعان
 (J/kg)
 جرم (kg)
 میعان (گرمای نهان ویژه): مقدار گرمایی است که 1kg از جسم جامد که در دمای تبخیر یا میعان خود قرار دارد، مبادلاً کند تا فرایند تبخیر یا میعان بر آن اتفاق افتد.

گرمای تبخیر ویژه
 تبخیر یا میعان
 (J/kg)
 جرم (kg)
 میعان (گرمای نهان ویژه): مقدار گرمایی است که 1kg از جسم جامد که در دمای تبخیر یا میعان خود قرار دارد، مبادلاً کند تا فرایند تبخیر یا میعان بر آن اتفاق افتد.

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.

$$L_v = \frac{Q}{m} \quad (11-4)$$

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 °	
L_v (kJ/kg)	دما ($^{\circ}\text{C}$)
۲۴۹۰	۰
۲۴۵۴	۱۵
۲۳۷۴	۵۰
۲۲۵۶	۱۰۰
۲۱۱۵	۱۵۰
۱۹۴۰	۲۰۰

* مقادیر تا 100°C در فشار ۱atm است.

مهم

پوشی ۴-۴

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

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m که گرمای تبخیر آن L_v است از رابطه $Q = +mL_v$ به دست می‌آید. علامت مثبت نشان دهنده آن است که مایع هنگام تبخیر گرما می‌گیرد.

مثال ۴-۱۲

معمولاً وقتی هوا را با بخارهای شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 200kg از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

$Q = +mL_v$
 $(L_v = 2374 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$
 پاسخ: با توجه به رابطه ۴-۱۱ و استفاده از جدول ۴-۵ داریم:

$$Q = +mL_v = +(200\text{kg})(2374 \times 10^3 \text{J/kg}) = 474.8 \times 10^6 \text{J}$$

۱- زیرنویس v حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.

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

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.

خوب است بدانید

بادگیرها: از گذشته‌های بسیار دور در مناطق کویری ایران مانند یزد، کرمان، کاشان، طبس و... برای خنک کردن هوای داخل بناها از انواع مختلف بادگیرها استفاده می‌شده است. ساختمان یکی از انواع بادگیرها به شکل مکعب مستطیل است که در دو یا چهار طرف آن، شکاف‌هایی تعبیه شده است. جریان باد با برخورد به شکاف‌های رو به باد، توسط کانال‌هایی به درون ساختمان هدایت می‌شود و بدین ترتیب هوای بیرون به داخل ساختمان می‌رود، در حالی که بقیه هوا از کنار بادگیر عبور می‌کند و به علت اصل برنولی سبب کاهش فشار هوا در شکاف‌های پشت به باد بادگیر می‌شود. در درون ساختمان، هوا از طریق یک تونل به پایین بادگیر و سپس از آنجا به زیرزمین منتقل می‌شود. آب به صورت نم روی دیواره‌های تونل و در حوض کوچکی در زیرزمین وجود دارد و هوا با تبخیر شدن آب، خنک می‌شود. به عبارتی، گرما از دیواره‌های تونل، حوض آب یا هوا گرفته می‌شود تا آب از مایع به بخار تبدیل شود. سپس جریان هوای خنک شده از طریق کانال‌های دیگری از دهانه‌های پشت به باد بادگیر، بر اثر کاهش فشار در اطراف این دهانه‌ها، خارج می‌شود.



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؟

الف) زودپز با توجه به آنکه در آن عتد فشار بیشتر و در نتیجه در دما بالاتر می‌رسد با همیج دلیل عتد، سریعتر پخته خواهد شد.

ب) چون در ارتفاعات فشار هوا کمتر است، نقطه جوش آب پایین تر بوده و تخم مرغ در دما پایین تر و دیرتر پخته می‌شود. براس رفای این مشکل میتوان مقدار نمک به آب اضافه کرد.

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.

الف $Q = mL_v = 2 \times 2254 \times 10^3 = 4508 \text{ kJ}$

بخار، ۱۰۰°C → آب، ۱۰۰°C

اب $P = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{P_{\text{کتری}}} = \frac{4508 \times 10^3}{1500} \approx 3000 \text{ s} = 50 \text{ min}$

الکتریکی $P_{\text{کتری}} = P_{\text{کتری}}$ چون بازده ۱۰۰٪ فرض کرده

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.

آزمایش ۴-۴

هدف: تعیین گرمای نهان تبخیر آب

وسایله‌های مورد نیاز: بشر ۲۰۰cc، دماسنج، سه پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز، زمان سنج، آب و ترازو

شرح آزمایش:



- ۱- جرم بشر خالی را اندازه‌گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً ۲۰۰g) 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 زمان سنج را روشن کنید ($t_1 = 0 \text{ s}$).
- ۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان (t_r) و دما (θ_r) را ثبت کنید.
- ۶- با استفاده از رابطه $P(t_r - t_1) = mc(\theta_r - \theta_1)$ 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_m) 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 $P(t_r - t_m) = m' L_v$ به دست آورید.



تمرین ۴-۶

قطعه یخی به جرم ۱/۰ kg و دمای اولیه -20°C را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار 100°C شود. کل گرمای

مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلو ژول است؟ ($C_{\text{یخ}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ ، $L_f = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ، $C_{\text{آب}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ ، $L_v = 2254 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)

$Q_1 = mc\Delta\theta = 1 \times 2100 \times (-20 - (-20)) = 0 \text{ kJ}$

$Q_2 = mc\Delta\theta = 1 \times 4200 \times 100 = 420 \text{ kJ}$

$Q_3 = +mL_f = 1 \times 334 = 334 \text{ kJ}$

$Q_4 = +mL_v = 1 \times 2254 = 2254 \text{ kJ}$

$Q_{\text{کل}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$
 $Q_{\text{کل}} = 3002 \text{ kJ}$

★ (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 ۱۰-۴

در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

مثال از میعان

مثال ۱۴-۴



در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره‌قطره می‌شود. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد برای آنکه 50 g آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟

$$(L_V = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q = -mL_V = -50 \times 10^{-3} \times 2260 = -1130 \text{ kJ}$$

که یعنی بخار این مقدار گرما از دست داده و آب آن را به شیشه داده است.

فعالیت ۱۱-۴

در فرایندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند. در این باره تحقیق کنید. **تغییر انرژی درونی** **تغییر دما** **همیشه نیست** **فازیندها تغییر حالت، همراه با تبادل انرژی هستند. پس حتی انرژی درونی تغییر می‌کند. اما باید دقت داشت که تغییرات انرژی درونی لزوماً باعث تغییر دما نمی‌شود.**

۵-۴ 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 ۴-۵).

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 هریک از این روش‌ها می‌پردازیم.

باد دمای کمتر

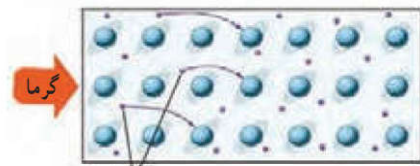
باد دمای بیشتر

★ رسانش ۸ نیاز به محیط مادی دارد. در جامدات فلزی به طور محسوس، در مایعات ضعیف و در گازها خیلی ناچیز اتفاق می افتد.

★ (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 کرده ایم. اما همچنین دیده ایم اجسامی دیگر مانند شیشه، چوب و... نیز می توانند گرما را تا حدودی انتقال دهند. رسانش گرمایی در این اجسام، به دلیل ارتعاش اتم ها و گسترش این ارتعاش ها در طول آنهاست (شکل ۴-۲۶). به جهت نبود الکترون های آزاد، این اجسام رساناهای گرمایی خوبی نیستند. به همین دلیل از برخی از این مواد در دیوارها و سقف بناها استفاده می کنند تا حتی الامکان از خروج گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.



شکل ۴-۲۶ در مایعات گرما صرفاً از طریق ارتعاش اتم ها انتقال می یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فنرها شبیه سازی شده است.



گرما

الکترون های آزاد

شکل ۴-۲۷ الکترون های آزاد با برخورد به یکدیگر و اتم ها موجب رسانش بهتری برای گرما می شوند.

اما در فلزات افزون بر ارتعاش های اتمی، الکترون های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند. بنابراین، نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند. در واقع چون الکترون ها بسیار کوچک اند و به سرعت حرکت می کنند با برخورد با سایر الکترون ها و اتم ها سبب رسانش گرما می شوند (شکل ۴-۲۷). بنابراین، در رساناهای

فلزی سهم الکترون های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم ها است. ★

فعالیت ۴-۱۲ جذب انرژی گرمایی بدن خرس از طریق تابش نور آفتاب و جذب آن بوده و از خروج

موهای خرس قطبی تو خالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه داشتن بدن خرس در سرمای قطب دارد؟
انرژی از بین خرسی به روش رسانشی است که چون موهای خرس تو خالی و رسانش ضعیف است، این خروج انرژی خیلی ناچیز و باطله.



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

★ همرفت

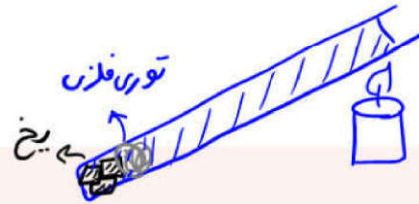
همرفت: وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می گذاریم چگونه همه آب آن در مدت نه چندان زیادی گرم می شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می کند؟

انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همرفت، یعنی همراه با جابه جایی بخشی از خود ماده، انجام می گیرد. همان طور که در کتاب علوم هشتم دیدید این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می گیرد. انتقال گرما به روش همرفت را

روش همرفت هم نیاز به محیط مادی دارد. با این تفاوت که انتقال گرما با انتقال خود ماده صورت می گیرد. (ماده رفت و آمد می کند) مایعات و گازها رسانای گرمایی خوبی نیستند اما انتقال گرما در آن ها عمدتاً می توان به سادگی با انجام آزمایش نمایش داد. به صورت همرفت اتفاق می افتد.

- ① همرفت طبیعی: افزایش دما یک قسمت باعث کاهش چگالی و حرکت آن به بالا و کاهش چگالی آن به پایین و جابه جایی کثرت شده و این اتفاق تکرار می شود.
- ② همرفت وادائی: در این حالت، قسمت بالایی بالاتر توسط یک تلمبه (مصنوعی یا طبیعی) حرکت کرده و جابه جا می شوند.

★ دونه ها همرفت وجود دارد.



آزمایش ۴-۵

هدف: مشاهده پدیده همرفت

وسایله‌های مورد نیاز: لوله همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پتاسیم پرمنگنات یا جوهر، چراغ الکلی یا گازی

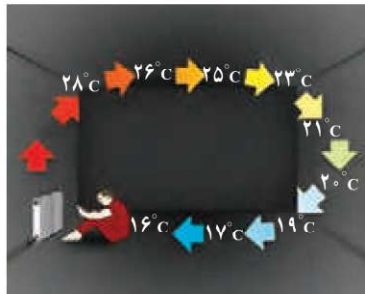
شرح آزمایش:

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.

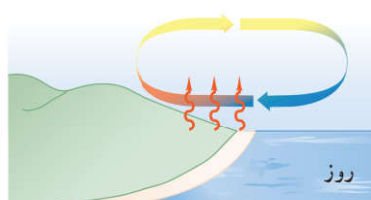
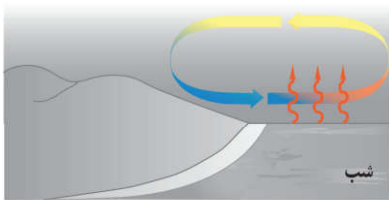
۳- دستتان را از شاخه قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخه قائم لوله را لمس کنید.

۴- مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هر یک از مشاهدات را توضیح دهید.



شکل ۴-۲۸ گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت

★ همرفت می‌تواند در همه‌ی شاره‌ها، 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 شاره در تماس با جسمی گرم‌تر از خود قرار گیرد، فاصله متوسط مولکول‌ها در بخشی از شاره که در تماس با جسم گرم است، افزایش می‌یابد؛ بدین ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه چگالی این قسمت از شاره کاهش می‌یابد؛ چون اکنون چگالی این شاره انبساط یافته کمتر از شاره سردتر اطراف خود است. **نیروی شناوری (بنا به اصل ارشمیدس) موجب بالا رفتن آن می‌شود.** آن‌گاه مقداری از شاره سردتر اطراف آن، جایگزین شاره گرم‌تر می‌شود که بالا رفته است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد. **گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیله 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 پدیده همرفت رخ می‌دهند. همه این مثال‌ها نمونه‌هایی از همرفت طبیعی است.**



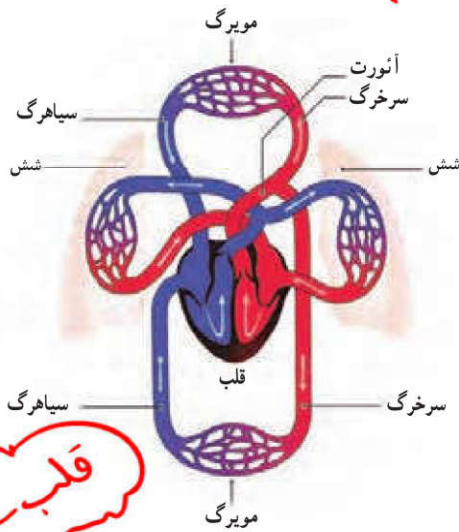
شکل ۴-۳۰ روز: زمین ساحل گرم‌تر از آب دریاست. پدیده همرفت موجب نسیمی از سوی دریا به سمت ساحل می‌شود. شب: زمین ساحل سردتر از آب دریاست. پدیده همرفت موجب نسیمی از سوی ساحل به سمت دریا می‌شود.

شکل ۴-۲۹ گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

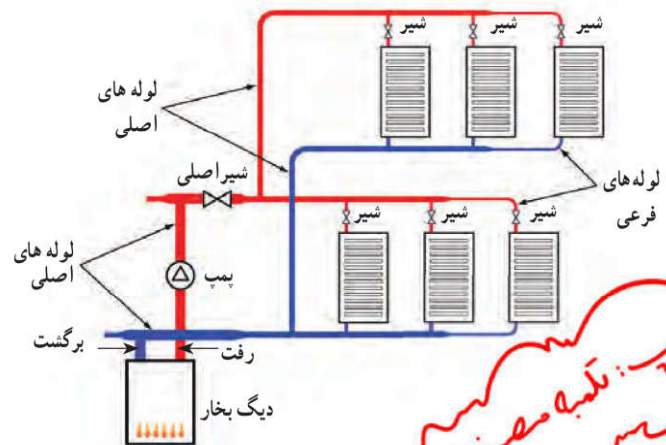
پوشش ۴-۶ هوش ضرب آب طراحی یک مایع بیتر باشد، همرفت در آن سریعتر اتفاق افتاده.

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 شار 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 تیز 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.) ★



قلب = تلمبه طبیعی



شیر = تلمبه مصنوعی

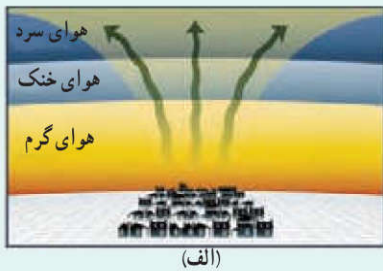
شکل ۴-۳۱ طرحی از سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها

شکل ۴-۳۲ طرحی از دستگاه گردش خون که در آن قلب همچون تلمبه‌ای باعث همرفت واداشته خون می‌شود.

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؟



(الف)



(ب)

الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در : (الف) شرایط عادی و (ب) شرایطی که وارونگی هوا رخ می‌دهد.

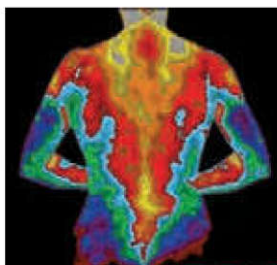
وارونگی هوا^۱: در شرایط عادی، توزیع لایه‌های هوای اطراف زمین به این ترتیب است که هوای گرم در اطراف سطح زمین قرار دارد و هوای لایه‌های بالاتر از آن به تدریج سرد و سردتر است. بدیهی است که در این حالت شرایطی مثل همرفت طبیعی حاکم است؛ یعنی هوای گرم‌تر به بالا می‌رود و هوای سردتر و چگال‌تر پایین می‌آید و بدین ترتیب چرخش هوایی بر اثر پدیده همرفت رخ می‌دهد (شکل الف).

وارونگی هوا معمولاً در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان شروع می‌شود و در آن همرفت طبیعی در جو زمین متوقف می‌گردد. در چنین شب‌هایی، لایه هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایه هوای گرم بالاتر قرار می‌گیرد. این لایه هوای گرم، پیش از این، بر اثر پدیده همرفت در یک روز عادی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایه هوای سرد مجاور زمین، باعث می‌شود پدیده همرفتی بین این لایه بسیار سرد و لایه هوای گرم بالای آن رخ ندهد. بدین ترتیب، مانع از چرخش هوا بر اثر پدیده همرفت در سطح زمین می‌گردد. به این پدیده، وارونگی هوا می‌گویند. در این وضعیت گرد و غبار و گازهای آلاینده شهری واقع در لایه هوای سرد مجاور زمین، که عمدتاً ناشی از تردد خودروها و کارخانجات دودزاست، در این لایه حبس می‌شوند (شکل ب). وارونگی هوا تا وقتی تداوم دارد که بر اثر وزیدن باد لایه‌های هوای سرد و گرم جابه‌جا شود، یا

با افزایش دمای قابل توجه لایه سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جو زمین از سر گرفته شود. با توجه به اینکه در این پدیده، الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در یک روز طبیعی بر هم می‌خورد، به این پدیده وارونگی دما^۲ نیز گفته می‌شود.

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؟



شکل ۱۰-۱ تصویربرداری دمانگشت از بدن یک فرد. سطح بدن یک فرد معمولی با دمای 30°C ، در محیطی با دمای 20°C به دلیل تابش گرمایی، با آهنگی در حدود 70 W گرما از دست می‌دهد.

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 پرتوهای 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 فروسرخ، نور مرئی، تابش فرابنفش، پرتوهای x و پرتوهای γ 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°C عمدتاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری موسوم به **دمانگار**^۱ استفاده می‌کنیم و به تصویر به‌دست آمده از آن **دمانگاشت**^۲ 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.



شکل ۴-۳۳ درون مکعب لسی، آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه مکعب که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.

☆ **مهم** 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.



شکل ۴-۳۵ اینها اندام‌های حفرةای هستند که گرما را آشکار می‌کنند.

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 حفرةای بر روی پوزه خود دارند که نسبت به تابش فروسرخ حساس‌اند (شکل ۴-۳۵). این مارها اغلب در سیاهی شب شکار می‌کنند. در واقع اندام‌های حفرةای به آنها کمک می‌کند که طعمه‌های خونگرم خود را به واسطه تابش فروسرخشان در تاریکی و سرمای شب مشاهده کنند.



شکل ۴-۳۶ کلم اسکانک برف اطراف خود را آب کرده است.

ب) کلم اسکانک^۳: 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.



پروتوننج (راديو متر) 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**^۱ و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، **تف‌سنج**^۲ می‌گویند. تف‌سنج بر خلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرد.

خوب است بدانید

یخ بستن بر اثر تابش: در بعضی نواحی که یخچال رایج نیست، برای ساختن یخ، آب را در کاسه‌ای کم عمق می‌ریزند و در طول شب بیرون می‌گذارند. کف و اطراف کاسه، عایق‌بندی شده و روی آن باز است. بدیهی است که اگر دمای هوا به زیر نقطه انجماد آب برسد، آب یخ خواهد زد. اما گاهی در شب‌هایی که هوا صاف است ممکن است آب در هوایی که دمای آن قدری بالاتر از نقطه انجماد آب است نیز یخ ببندد. دلیل این پدیده آن است که در یک شب صاف، آسمان را می‌توان مثل یک سطح واحد در نظر گرفت که دمایش زیر نقطه انجماد آب است. در طول شب، تبدلی از تابش فروسرخ بین سطح آسمان و آب صورت می‌گیرد. گسیل تابشی آب که ابتدا دمایش بالاتر از نقطه انجماد است بیشتر از تابشی است که از آسمان جذب می‌کند و بنابراین آب سرد می‌شود. اگر دمای هوای اطراف آب خیلی بیشتر از نقطه انجماد آب نباشد، آب ممکن است بر اثر این فرایند تابشی آنقدر گرما از دست بدهد تا یخ بزند.

۶-۴ قوانین گازها



شکل ۴-۳۷ سرد شدن هوای درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه مجاله شدن مخزن شده است.

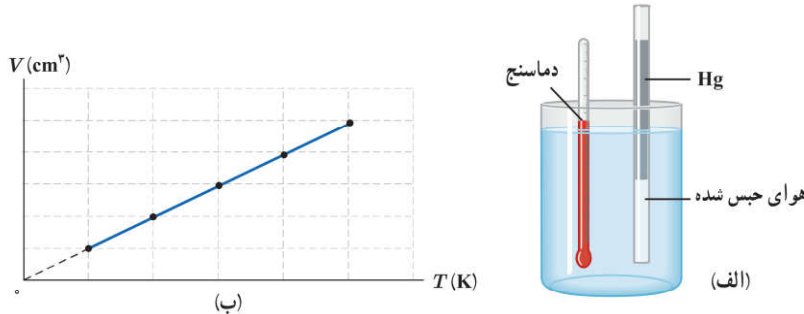


شکل ۴-۳۸ با در دست گرفتن حباب شیشه‌ای و گرم کردن آن، مایع رنگی در لوله مارییج بالا می‌رود.

روی برخی از افشانه‌ها (اسپری‌ها) نوشته شده است "از قرار دادن افشانه در آتش خودداری شود". با داغ کردن قوطی افشانه، جنبش مولکولی گاز درون آن زیاد می‌شود و فشار وارد از گاز به دیواره‌های آن افزایش می‌یابد و این می‌تواند حتی موجب ترکیدن قوطی شود. اگر در یک بطری نوشابه پلاستیکی و توخالی، اندکی آب داغ بریزیم و سپس آب را در بطری چرخانده و دور بریزیم و آن‌گاه در بطری را محکم ببندیم، بطری پس از مدتی مجاله می‌شود. شکل ۴-۳۷ مخزنی را نشان می‌دهد که به همین دلیل مجاله شده است. همچنین شکل ۴-۳۸ یک اسباب‌بازی ساده را نشان می‌دهد که مخزن پایینی آن تا نیمه از یک مایع رنگی پر شده است. وقتی این مخزن را در دستتان می‌گیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمه خالی مخزن زیاد می‌شود و سطح مایع این مخزن را به طرف پایین می‌راند. این کار سبب می‌شود مایع رنگی مخزن پایینی از لوله باریک مارییج که انتهای پایینی آن درون این مخزن قرار دارد بالا رود. هر چه دستتان گرم‌تر باشد و بهتر مخزن شیشه‌ای را در برگیرد، مایع در لوله بیشتر بالا می‌رود.

برای بررسی رفتار گاز می‌توان مقداری گاز را درون یک استوانه قرار داد و در هر لحظه دما، فشار و حجم آن را اندازه‌گیری کرد. دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گئی لوساک و ... تلاش‌های بسیاری کرده‌اند تا رابطه بین فشار، حجم، دما و مقدار گاز درون یک محفظه را بیابند.

بررسی گاز در فشار ثابت: تاکنون در مورد انبساط گرمایی جامدها و مایع‌ها مطالبی را فرا گرفته‌ایم. اما در مورد گازها چطور؟ آیا حجم گازها نیز متناسب با دما تغییر می‌کند؟ چون گازها به سادگی متراکم می‌شوند باید به فشار گاز نیز فکر کنیم. ژاک شارل^۱ دانشمند فرانسوی (۱۷۴۶-۱۸۲۳ م.) به‌طور تجربی دریافت که اگر فشار مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود حجم آن مستقیماً با افزایش دما (برحسب کلونین) افزایش و یا کاهش دما، کاهش می‌یابد. شکل ۴-۳۹ الف، نوعی از آزمایش او و شکل ۴-۳۹ ب، نتیجه‌ای از آن آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۹ الف اسبابی برای تحقیق اثر دما بر حجم مقدار ثابتی از گاز که در فشار ثابت نگه‌داشته شده است. (ب) نمودار V برحسب T برای یک گاز، وقتی فشار و مقدار گاز ثابت باشد.

نتیجه این آزمایش را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت}$$

(۴-۱۲) (فشار و جرم ثابت)

در این رابطه V حجم گاز و T دمای گاز برحسب کلونین است.

مثال ۴-۱۵

فعالیت ۴-۱۵

فشار ثابت،
دما افزایشی،
حجم افزایشی



سر سرنگی را که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند به فشارسنجی می‌بندیم و آن را به‌طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و ظرف را به آرامی گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدام یک از کمیت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنگ تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟

مثال ۴-۱۵

در آزمایشی، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از 27°C به 87°C می‌رسانیم. اگر حجم گاز ابتدا 2 L باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

$$T = \theta + 273$$

$$T_2 = 340\text{ K} \text{ \& } T_1 = 300\text{ K}$$

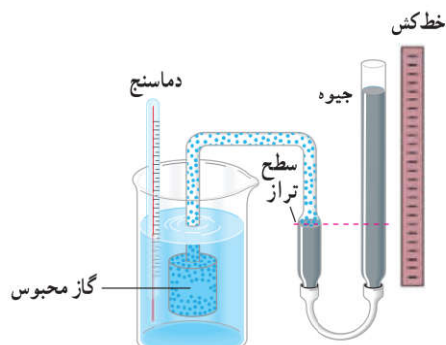
$$\frac{V_2}{340} = \frac{2}{300} \rightarrow V_2 = \frac{2 \times 340}{300}$$

$$V_2 = 2.27\text{ Lit}$$

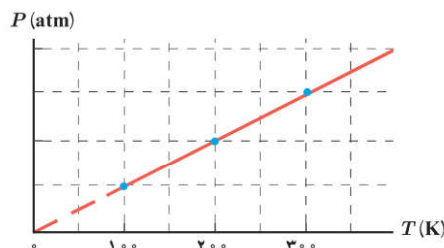
بررسی گاز در حجم ثابت: شیمی دان فرانسوی ژوزف لوئیس گی لوساک^۱ (۱۸۵۰-۱۷۷۸ م.) در سال ۱۸۰۲ میلادی به طور تجربی دریافت که اگر حجم مقدار معینی از یک گاز ثابت نگه داشته شود، فشار آن مستقیماً با دما (بر حسب کلون) متناسب است (شکل ۴-۴). شکل ۴-۴ نوعی از آزمایش او را برای بررسی تغییر فشار و دمای گاز، در حجم ثابت نشان می‌دهد.

$$\frac{P}{T} = \text{ثابت}$$

(۱۳-۴) (حجم و جرم ثابت)



شکل ۴-۴ آزمایش ساده برای اندازه‌گیری فشار گاز در دماهای مختلف (در حجم ثابت)



شکل ۴-۴ رابطه بین فشار و دمای یک گاز، در حجم ثابت

مثال ۴-۱۶

راننده‌ای پیش از حرکت، فشار لاستیک اتومبیل خود را با یک فشارسنج اندازه می‌گیرد و برای آن مقدار ۲۱۴ kPa را به دست می‌آورد. در این زمان، دما برابر با ۱۵°C است. پس از چند ساعت رانندگی، توقف می‌کند و فشار لاستیک را دوباره اندازه می‌گیرد. اینک فشار ۲۴۱ kPa شده است. اکنون دمای هوای داخل لاستیک چقدر است؟ از تغییر حجم کم هوای درون لاستیک چشم‌پوشی کنید و فرض کنید فشار هوای محیط برابر با ۱۰۱ kPa = ۱ atm باشد.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \leftarrow \text{در این رابطه باید فاصله جابجایی شود}$$

$$P_1 = P_2 - P_0 \rightarrow P_2 = P_1 + P_0 \rightarrow \begin{cases} P_1 = 210 \text{ kPa} \\ P_2 = 242 \text{ kPa} \end{cases}$$

$$T = \theta + 273 \rightarrow T_1 = 15 + 273 = 288 \text{ K}$$

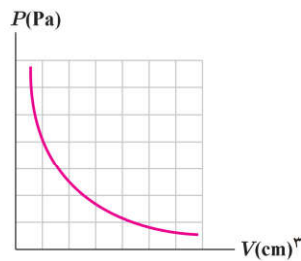
$$\frac{242}{T_2} = \frac{210}{288} \rightarrow T_2 = \frac{242 \times 288}{210} = 323 \text{ K} \rightarrow \boxed{\theta_2 = 50^\circ \text{C}}$$

^۱ Joseph Louis Gay-Lussac

بررسی گاز در دمای ثابت: سومین قانون تجربی گازها، توسط دانشمند انگلیسی رابرت بویل^۱ در سال ۱۶۶۲ میلادی ارائه شد و دانشمند فرانسوی امه ماریوت^۲ در سال ۱۶۷۶ میلادی به نتیجه مشابهی رسید.

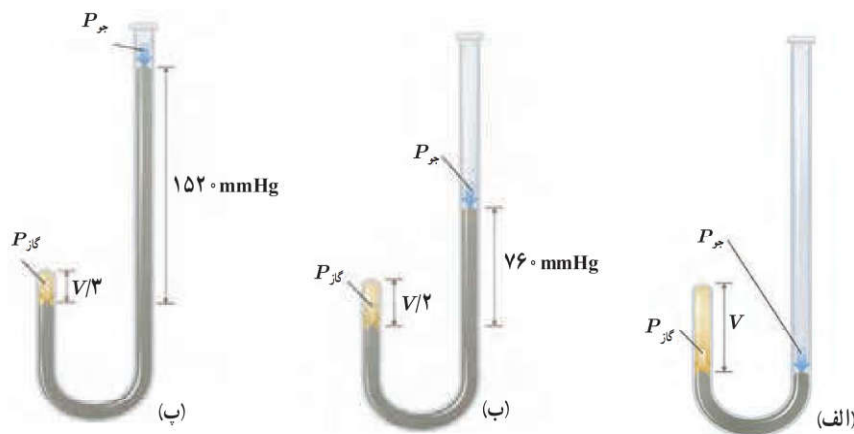
در واقع آنها دریافتند که اگر دمای مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود، فشار آن با حجمش رابطه وارون دارد (شکل ۴-۴۲). به عبارتی، حاصل ضرب فشار و حجم گاز مقداری ثابت است.

$$PV = \text{ثابت} \quad (\text{دما و جرم ثابت}) \quad (۴-۱۴)$$



شکل ۴-۱۴ نمودار فشار برحسب حجم گاز در دمای ثابت

شکل ۴-۴۳ نوعی از آزمایش بویل را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۳ الف) در ابتدا گاز در فشار $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$ است توجه کنید که ارتفاع جیوه در هر دو شاخه یکسان است و دهانه شاخه سمت راست باز است. حجم گاز محبوس V است. (ب) اگر جیوه به شاخه سمت راست افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه 760 mmHg گردد، فشار گاز برابر فشار جو (760 mmHg) به علاوه 760 mmHg ، یعنی برابر 1520 mmHg و حجم گاز محبوس $\frac{V}{2}$ می‌شود. (ب) اگر باز هم به شاخه سمت راست جیوه افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه 1520 mmHg گردد فشار کل وارد به گاز به 2280 mmHg می‌رسد و حجم گاز محبوس به $\frac{V}{3}$ کاهش می‌یابد.

^۱ — Robert Boyle

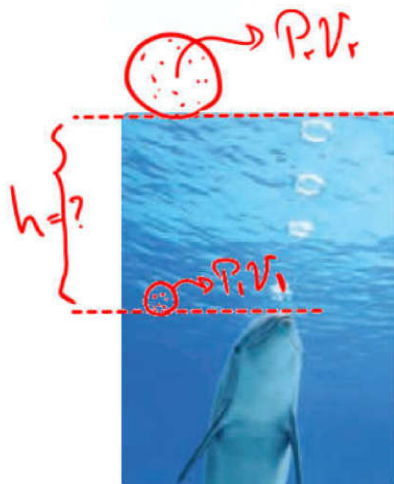
^۲ — Edme Mariotte



رابرت بویل

رابرت بویل در سال ۱۶۲۷ در شهر مونستر ایرلند به دنیا آمد. بویل در ۱۴ سالگی به ایتالیا سفر کرد و در آنجا تحت تأثیر اندیشه‌های گالیله قرار گرفت و در مراجعت به انگلستان وارد دانشگاه آکسفورد شد. او در آکسفورد عضو انجمن دانشجویی به نام «کالج نامرئی» شد که وظیفه اصلی آن کشف حقایق علمی از راه و روش آزمایش بود. بویل تجربه‌گری ماهر بود و در نتیجه تجربه‌ها و آزمایش‌های زیاد خود به کشف قانون بویل نایل آمد. او همچنین در مورد پدیده صوت، رنگ‌ها، بلورها و الکتریسیته ساکن نظریه‌های جالبی ارائه داد و حتی چیزی نمانده بود که به کشف عنصر اکسیژن نایل شود. او ضمن کارهای آزمایشگاهی خود پی برد که از ترکیب عناصر می‌توان مواد جدیدی ساخت. رابرت بویل علاوه بر کارهای علمی به امور اجتماعی و انسان‌دوستانه نیز پایبند بود و از جمله هزینه انتشار کتاب مشهور نیوتون (اصول) را برعهده گرفت. بویل در سال ۱۶۹۱ در لندن درگذشت.

مثال ۴-۱۷



دلفینی حباب هوایی را در زیر دریاچه‌ای تفریحی ایجاد می‌کند. فرض کنید این حباب به سطح دریاچه می‌رسد و با رسیدن به سطح آب، حجم آن دو برابر می‌شود. عمقی که در آن حباب تشکیل شده است، چقدر بوده است؟ فرض کنید فشار هوا در سطح آب 101 kPa ، دمای آب دریاچه در همه جا یکسان است و فشار هوای داخل حباب همان فشار آب پیرامون آن است.

خواهش می‌کنم: $h=?$

$$P_i = P_r + \rho gh$$

$$P_r = P_0$$

$$\frac{P_0 V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i} \rightarrow P_i = 2P_0$$

$$\rightarrow 2P_0 = P_0 + \rho gh$$

$$\rightarrow 101000 = 1000 \times 10 \times h \rightarrow \boxed{h = 10.1 \text{ m}}$$

فعالیت ۴-۱۶

با وجود تلاش در جهت ثابت نگه داشتن فشار هوای درون هواپیما، همواره مقدار آن کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، بسته‌های نوشیدنی یا دسر باد می‌کنند و حتی گاهی درشان باز می‌شود. با فرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

گاهی فشار هوا از اطراف باعث این اتفاق می‌شود.

قانون آووگادرو: کمیت دیگری که در بررسی قوانین گازها باقی مانده است، جرم گاز و یا به طور

معادل تعداد مول گاز است. آمدئو آووگادرو (۱۷۷۶ تا ۱۸۵۶ م.) دانشمند ایتالیایی در سال ۱۸۱۱

میلادی بیان کرد که در دما و فشار یکسان، نسبت حجم گاز (V) به تعداد مولکول‌های آن (N) ثابت است:

$$\frac{V}{N} = \text{ثابت (دما و فشار یکسان)}$$

در یک مول از گاز به تعداد 6.02×10^{23} (عدد آووگادرو) مولکول وجود دارد. بنابراین، $N = nN_A$

که در آن n تعداد مول و N_A همان عدد آووگادرو است. پس نتیجه می‌گیریم که رابطه بالا را می‌توانیم

به صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{V}{n} = \text{ثابت} \quad (۴-۱۵) \quad (\text{دما و فشار یکسان})$$



آمدئو آووگادرو: آمدئو آووگادرو

در سال ۱۷۷۶ در شهر تورین ایتالیا به دنیا آمد. پدرش قاضی مشهوری بود و علاقه داشت پسرش حرفه او را پیشه کند. آمدئو فرد نابغه‌ای بود و در ۲۰ سالگی به دریافت دکترای حقوق نایل آمد. اما پس از سه سال کار و تجربه، دریافت که این حرفه خواسته‌هایش را برآورده نمی‌کند و از این‌رو به ریاضیات و فیزیک و شیمی روی آورد. در ۳۳ سالگی به مقام استادی فیزیک رسید. دو سال بعد، در سال ۱۸۱۱ نظریه معروف مولکولی خود را در یک مجله فرانسوی به چاپ رساند. اما این نظریه در زمان خود مورد توجه قرار نگرفت و به فراموشی سپرده شد. آووگادرو با کوشش فراوان توانست فرق بین اتم و مولکول را کشف کند. او همچنین بیان کرد که حجم مساوی از هر گاز دارای تعداد مولکول یکسانی است، به شرط آنکه اندازه‌گیری در شرایط یکسانی از دما و فشار صورت گیرد. امروزه نظریه آووگادرو به قانون آووگادرو معروف است و شهرتی عالم‌گیر دارد. آووگادرو بقیه عمرش را نیز صرف پژوهش و تدریس موضوع‌های علمی کرد و سرانجام در سال ۱۸۵۶ درگذشت، درحالی که دنیای علم آن روز به نبوغش بی‌نبرده بود.

قانون گازهای آرمانی (کامل): همه روابطی که برای گازها بیان کردیم در مورد گازهایی که به اندازه کافی رقیق باشند، یا چگالی آنها به حد کافی کم باشد، با دقت خوبی برقرار است. به این گازها که مولکول‌های آنها به حدی از هم دورند که برهم تأثیر چندانی نمی‌گذارند، گاز آرمانی (کامل) می‌گویند. در واقع این روابط برای گازهای واقعی که چگالی بالایی دارند نتایجی تقریبی دارد. این روابط را می‌توانیم در شکلی کلی موسوم به قانون گازهای آرمانی به صورت زیر ترکیب کنیم:

ثابت $\frac{PV}{nT}$
این مقدار ثابت را با R نشان می‌دهند و به آن ثابت جهانی گازها می‌گویند. آزمایش نشان می‌دهد که مقدار R برابر است با

$$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

بنابراین، قانون گازهای کامل را می‌توان چنین نوشت:

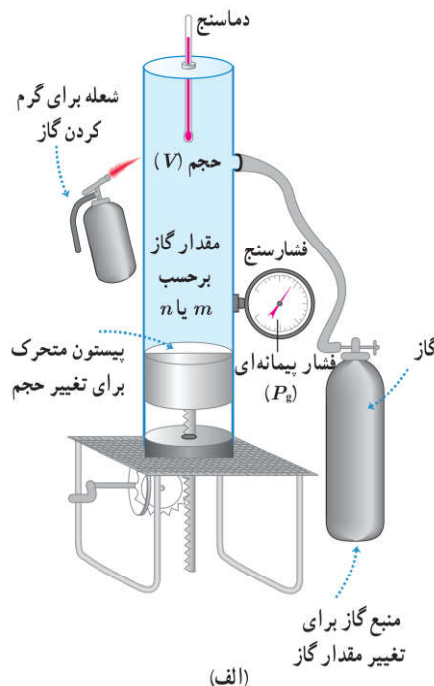
$$PV = nRT$$

(۱۶-۴)

که در آن P برحسب پاسکال (Pa)، V برحسب مترمکعب (m^3)، n برحسب مول (mol) و T برحسب کلون (K) است. شکل ۴-۴۴ الف طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و شکل ۴-۴۴ ب تصویری واقعی از این دستگاه را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۱۴-۴۴ الف) طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و ب) تصویری واقعی از آن

مثال ۴-۱۸

الف) تعداد مولکول‌های هوایی که در اتاقی به ابعاد $3/00\text{ m}$ ، $6/00\text{ m}$ ، $4/00\text{ m}$ در فشار $1/00\text{ atm}$ و دمای 27°C وجود دارد چقدر است؟ ~~$P = 1.013 \times 10^5\text{ Pa}$~~
 (ب) جرم هوای درون اتاق چقدر است؟ جرم مولی متوسط گازهای موجود در هوا، 29 kg/mol است.

$$N = n N_a$$

$$\frac{PV}{T} = nR \rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0 \times 3 \times 6 \times 4}{8 \times 300} = 3000\text{ mol}$$

$$\rightarrow N = 3000 \times 6 \times 10^{23} = 18 \times 10^{24}$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow m = n \times M = 3000 \times 29 = 87\text{ kg}$$

مثال ۴-۱۹

درون استوانه‌ای 12 L گاز اکسیژن با دمای 7°C وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشارسنجی اندازه می‌گیریم. فشارسنج 14 atm را نشان می‌دهد. دمای گاز را به 77°C و حجم آن را به 25 L می‌رسانیم. فشاری که فشارسنج در پایان نشان می‌دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه 1 atm است. فرض کنید گاز درون استوانه، گاز آرمانی است.

پاسخ: می‌دانیم فشارسنج، فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهد و در قانون گازهای کامل باید از فشار مطلق استفاده کنیم.

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

@mrgrezaee
@mrphysic123

$$P_2 = P_{\text{سنج}} - P_0 \rightarrow P_2 = P_{\text{پیمانه}} + P_0 \rightarrow P_1 = 10\text{ atm}$$

$$\frac{P_2 \times 25}{280} = \frac{10 \times 12}{280} \rightarrow P_2 = \frac{120 \times 10 \times 12}{280 \times 25} = 9\text{ atm}$$

۱۲۳

$$\rightarrow P = 9 - 1 = 8\text{ atm}$$

۴-۱ دما و دماسنجی

۱) دماهای زیر را بر حسب درجه سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید:

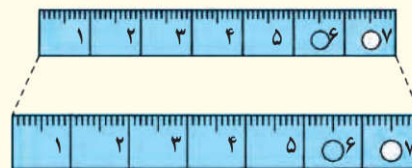
الف) $^{\circ}\text{K}$ (ب) 273K

پ) 373K (ت) 546K

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)

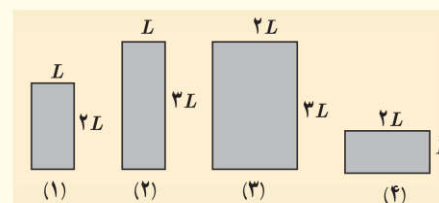
۴-۲ انبساط گرمایی

۳) شکل زیر، یک خط‌کش فلزی را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می‌دهد (برای روشن بودن مطلب، انبساط به صورت اغراق آمیزی رسم شده است). از این شکل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



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 هم اندازه‌ای 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 m ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای 10°C ، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای 50°C ، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟ $(\alpha_{\text{بتون}} \approx 14 \times 10^{-6} \text{K}^{-1})$

۶) یک ظرف آلومینیمی با حجم 400 cm^3 در دمای 20°C به‌طور کامل از گلیسرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسرین به 30°C برسد، چقدر گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

۷) مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h=1\text{ m}$ ریخته شده است. در دمای 10°C - فاصله بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر 5 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 افزایش 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 سرد 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 10°C - و در تابستان تا 50°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 km است.



۴-۴ تغییر حالت های ماده

۱۴ یکی از روش های بالا بردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می رود؟ توضیح دهید.

۱۵ قبل از تزریق دارو یا سرم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می شود. 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 می شود.

ب) افزایش فشار روی یخ، سبب کاهش اندک نقطه ذوب آن می شود.
پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.

ت) گرمایی که جسم جامد خالص و بلورین در نقطه ذوب خود می گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی شود.

۱۷ کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل 200g نقره که در آغاز در دمای 200°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 سر بسته در شب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت 15kg و دمای اولیه آن 20°C باشد و همه آن به یخ 0°C تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می دهد؟ اگر بخواهیم به جای این تشت آب از یک بخاری برقی 2000 وات استفاده کنیم، بخاری چند ساعت باید روشن باشد تا همان قدر گرما به سالن بدهد؟

۱۹ یک گرمکن 50 وات به طور کامل در 10°C گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می شود.

الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از 2°C به 25°C می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب) چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از 25°C به نقطه جوش (100°C) برسد؟

پ) چه مدت طول می کشد تا 20°C گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

الف) در اثر این اختلاف دما، این خط چقدر منبسط می شود؟
ب) چگونه می توان تأثیر این انبساط را برطرف کرد؟

۱۰ در یک روز گرم، یک کامیون حمل سوخت، $30,000\text{L}$ بنزین بارگیری می کند. دمای هوا در محل تحویل سوخت 20°C کمتر از محلی است که در آنجا کامیون بارگیری کرده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می دهد؟

۴-۳ گرما

۱۱ برای گرم کردن 200g آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه ور در آب استفاده می کنیم. روی برجسب گرمکن 200W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از 30°C به 100°C را محاسبه کنید.



۱۲ دمای یک قطعه فلز 60°C کیلو گرمی را توسط یک گرمکن 50 وات در مدت 110s از 18°C به 38°C رسانده ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را به دست می دهد؟ حدس می زنید 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°C گرم آب به درون گرماسنج ریخته می شود. اکنون دمای این مجموعه 30°C شده است. در این هنگام 100 گرم آب 70°C به گرماسنج اضافه می شود، دمای تعادل 52°C می شود. گرمای ویژه قطعه را محاسبه کنید.

$$\Delta V = V_1 \beta \Delta \theta = 30000 \times 1 \times 10^{-5} \times (20) = -400 \text{ Lit}$$

X-9

$$\rightarrow V_2 = 30000 - 400 = 29600 \text{ Lit}$$

-10

$$P_{\text{گرمایی}} = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{P_{\text{گرمایی}}} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \rightarrow t = \frac{58800}{200} = 294 \text{ s} \quad -11$$

$$P_{\text{گرمایی}} = P_{\text{الکتریکی}} = 200 \text{ W} \rightarrow \text{بازده 100 درصدی باشد}$$

$$Q = mc \Delta \theta = 2 \times 4200 \times 70 = 58800 \text{ J}$$

$$Q = mc \Delta \theta \rightarrow c = \frac{Q}{m \Delta \theta} = \frac{20000}{4 \times 20} = 2500 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \quad -12$$

$$P_{\text{گرمایی}} = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = P_{\text{گرمایی}} t \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} Q = 50 \times 110 = 5500 \text{ J}$$

$$P_{\text{گرمایی}} = P_{\text{الکتریکی}} = 50 \text{ W} \rightarrow \text{بازده 100 درصدی باشد}$$

عدد بیت آگده از آنرنایشی (با صورت تجربی)
کستری شود، زیرا مقدار از گرما با محیط اطراف داده می شود.

۱۳- (معلم) با توجه به شرح سوال دمای مجبوعه (گرماسنج، قطعه، آب اول) در ۳۰°C با تعادل رسیده و بعد آب ۷۰°C اضافه شده است.

$$Q_{\text{گرماسنج}} + Q_{\text{آب اول}} + Q_{\text{قطعه}} + Q_{\text{آب اضافه شده}} = 0$$

توجه: $c = 400 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ / دمای متغی / دمای متغی

$$mc(\theta - \theta_1) + mc(\theta - \theta_1) + mc(\theta - \theta_1) + mc(\theta - \theta_1) = 0$$

آب ۱ قطعه آب ۲

$$200 \times 400 \times (50 - 30) + 200 \times 4200 \times (50 - 30) + 100 \times c \times (50 - 30) + 1000 \times 4200 \times (50 - 70) = 0$$

۵ ۲۰ ۵۲۵ ۲۰ ۵۲۵ ۲۰ ۲۰ ۲۰

$$1000 + 24250 + c - 52500 = 0 \rightarrow c = 1425 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

۱۴- خیر، زیرا ممکن است این انرژی گرمایی صرف تغییر حالت ماده شود و دما ثابت بماند.

۱۵- تبخیر، یک فرآیند گرماگیر است، یعنی مایه که می خواهد تبخیر شود نیاز به گرفتن انرژی از اطراف دارد. حال آنکه از پوست بدن انرژی می گیرد و در آن ناحیه، دمای بدن کاهش می یابد.

- ۱۶- الف) قدرت ب) درت پ) درت ت) درت
۱۷- با عمده شما! در امتحان فقط دوتای نقره و کرباس و نقره و کرباس بخان آن دایم!



$$Q_{\text{کل}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = mc\Delta\theta = 150 \times 4200 \times (-20) = -1240000 \text{ J}$$

$$Q_2 = -ml_f = -150 \times 330000 = -49500000 \text{ J}$$

$$Q_{\text{کل}} = -4210000 \text{ J}$$

این اندازه کرباس و نقره سال داده می شود.

۱۹- الف) $Q_{\text{کل}} = Q_{\text{آب}} + Q_{\text{کرباسج}}$ $\rightarrow mc\Delta\theta + C\Delta\theta = 3000$

$P_{\text{کرباس}} = \frac{Q}{t} \rightarrow Q_{\text{کل}} = P_{\text{کرباس}} t$ $\rightarrow 1 \times 4200 \times \Delta\theta + C \times \Delta\theta = 3000$

بازده ۱۰۰٪ $\rightarrow Q_{\text{کل}} = 50 \times 40 = 2000 \text{ J} \rightarrow C = \frac{900}{5} = 180 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$

ب) $P_{\text{کرباس}} = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{4000 \times 75}{100} = (10 \times 40) \text{ s} = 10 \text{ min}$

$Q = mc\Delta\theta + C\Delta\theta = 1 \times 4200 \times 75 + 180 \times 75 = (400 \times 75) \text{ J}$

ب) $P_{\text{کرباس}} = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{P}$ $\rightarrow L_v = 2248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ $\rightarrow$ داده می شود.

$Q = +ml_v = (10 \times 2248000) \text{ J} \rightarrow t = \frac{20 \times 2248}{50} = 9.0712 \text{ s} = 10.12 \text{ min}$

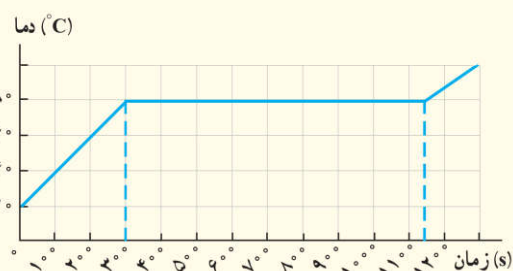
۲۰- الف) $P_{\text{کرباس}} = \frac{Q}{t} \rightarrow \begin{cases} t = \frac{Q}{P} \\ P = 200 \text{ W} \end{cases} \rightarrow t = \frac{2248000}{200} = 11240 \text{ s}$

$Q = ml_v = 1 \times 2248000 = 2248000 \text{ J}$ $\rightarrow$ با عمده شما!

۲۰ گرمی در هر ثانیه 20°C ژول گرم می دهد. الف) چقدر طول می کشد تا این گرمکن 10°C را به بخار آب 100°C تبدیل کند؟ ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ 0°C را می تواند به آب 0°C تبدیل کند؟

۲۱ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه کافی کوچک است با توان ثابتی گرما بدهیم نمودار دما-زمان آن به صورت کیفی مانند شکل زیر می شود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم 50 g رسم شده که توسط یک گرمکن 10°C گرم شده است. الف) چقدر طول می کشد تا این جامد از دمای اولیه 20°C به نقطه ذوب خود برسد؟

ب) گرمای ویژه جامد و پ) گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.



۲۲ در حالت کوچکی 10°C آب 10°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 kg به اندازه 1°C کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن (37°C) برابر 2420 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 بچسبد؟

۲۵ یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می دارد؟ چرا استفاده از

چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدید می کند؟
۲۶ دوقوری 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؟

۴-۶ قوانین گازها

۲۷ گازی در دمای 20°C دارای حجم 100 cm^3 است. الف) این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن 200 cm^3 شود؟ ب) این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم 50 cm^3 خواهد شد؟

۲۸ هوایی با فشار 1 atm درون استوانه یک تلمبه دوجرخه به طول 24 cm محبوس است. راه های ورودی و خروجی هوای استوانه تلمبه را می بندیم. اکنون:

الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به 3 cm افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چقدر خواهد شد؟
ب) برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس 3 atm شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

۲۹ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است، فشارسنج، فشار درون لاستیک را 20 psi اتمسفر نشان می دهد. پس از یک رانندگی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه گیری می شود. اکنون فشارسنج، 23 psi اتمسفر را نشان می دهد. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را 10 psi اتمسفر در نظر بگیرید.

۳۰ دما و فشار متعارف (STP) برای گاز، دمای 273 K و فشار 101325 Pa معرّفی می شود. حجم یک مول گاز کامل در دما و فشار متعارف چقدر است؟

۳۱ یک حباب هوا به حجم 2 cm^3 در ته یک دریاچه به عمق 4 m قرار دارد که دما در آنجا 4°C است. حباب تا سطح آب بالا می آید که در آنجا دما 20°C است (دمای هوای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه ای که حباب به سطح آب می رسد حجم آن چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را 101325 Pa در نظر بگیرید.

الف) ۲۰۰ S

۲۱- (مسلم)

$$Q = mc\Delta\theta \rightarrow c = \frac{Q}{m\Delta\theta} \quad \left\{ \begin{array}{l} c = \frac{2000}{1.0 \times 4.0} = 1000 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \\ P_{\text{گرمایی}} = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = Pt = 1.0 \times 2000 = 2000 J \end{array} \right.$$

$$Q = mL_f \rightarrow L_f = \frac{Q}{m} \quad \left\{ \begin{array}{l} L_f = \frac{18000}{1.0} = 18000 \frac{J}{kg} \\ Q = Pt = 1.0 \times 18000 = 18000 J \end{array} \right.$$

اندازه گرمایی که m' گرم آب
میگیرد تا تغییر سطح شود =
اندازه گرمایی که m گرم آب
از دست می دهد تا منجمد شود

$$|Q| = |Q| \quad \text{تغییر} \quad \text{انجماد}$$

$$\rightarrow \begin{cases} mL_f = m' L_v \rightarrow 325m = 2500m' \\ m + m' = 1000 \end{cases} \xrightarrow{\div 25} m' = \frac{13}{100} m$$

$$\left(\begin{array}{l} L_f = 325 \frac{kJ}{kg} \\ L_v = 2500 \frac{kJ}{kg} \end{array} \right)$$

$$\rightarrow m + 0.13m = 1000 \rightarrow m = \frac{1000}{1.13} \approx 885 g$$

۲۳- آب که روی پوست جمع شده است (عرق بدن)، برای تبخیر شدن، نیاز به گرما دارد که این
گرما را از بدن گرفته و باعث خنک شدن بدن می شود.

$$|Q| = |Q| \quad \text{تغییر} \quad \text{بین} \quad \rightarrow |mL_v| = |m c \Delta\theta|$$

$$\rightarrow m \times 2420000 = 50 \times 3680 \times 1 \rightarrow m = \frac{50 \times 3680}{2420000} \approx 0.72 kg = 720 g$$

۲۴- آهنگ می رقصی گرما (انتقال گرما) با ملزبیت است. یعنی فلز با سرعت بیشتر از
دست انرژی گرمایی می گیرد و دمای دست سریعتر کاهش می یابد.
اگر دست رطوبت داشته و یا خیس باشد، ممکن است آب روی پوست منجمد شده و
پوست به فلز بچسبد.

۲۵- پوشیدن پالتو، باعث ایجاد یک لایه هوا در اطراف پوست می شود و چون هوا،
عایق گرما است، خروج (انتقال) گرما از بدن کاهش می یابد. پوشیدن چند لباس، باعث ایجاد
چند لایه هوا شده و اتلاف انرژی گرمایی بدن خیلی ناچیز می شود.

۲۶- قورس سیاه سریعتر خنک می شود. زیرا خروج انرژی گرمایی از طریق تابشی از اجسام تیره سریعتر
اتفاق می افتد.

$$\frac{P_r V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_r}{T_r} = \frac{1}{293} \rightarrow T_r = \boxed{514 \text{ K}} \\ \Delta_r = 514 - 273 = \boxed{241^\circ \text{C}} \end{array} \right. \quad -27$$

$$T = \theta + 273 \rightarrow T_i = 293 \text{ K}$$

(الف)

$$\frac{P_r V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i} \quad P_r(A \times r_0) = 1 \times (A \times r_1) \rightarrow P_r = \frac{r_1}{r_0} = \boxed{1 \text{ atm}} \quad -28$$

(ب)

$$\frac{P_r V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i} \quad P_r(A \times h_r) = P_i(A \times r_1)$$

$$\rightarrow r \times h_r = 1 \times r_1 \rightarrow h_r = 1 \text{ cm} \rightarrow \Delta h = 1 - 25 = -14 \text{ cm}$$

(نکته) 14 cm آب می‌ریزد.

29 - * فشار، سطح، فشار، سطح، سطح

$$\frac{P_r V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i}$$

$$P = P_{\text{atm}} - P_r \rightarrow P_{\text{atm}} = P_r + P \rightarrow \begin{cases} P_i = 2 + 1 = 3 \text{ atm} \\ P_r = 27 + 1 = 28 \text{ atm} \end{cases}$$

$$T = \theta + 273 \rightarrow T_i = 17 + 273 = 290 \text{ K}$$

$$\rightarrow \frac{28}{T_r} = \frac{3}{290} \rightarrow T_r = \boxed{265 \text{ K}} \quad \Delta_r = 265 - 273 = \boxed{-8^\circ \text{C}}$$

$$\frac{PV}{T} = nR \rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \times 8.314 \times 273}{1.013 \times 10^5} \quad (R \text{ دایره صاف}) \quad -30$$

$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

$$\rightarrow V = \frac{8.314 \times 273}{1.013} \times 10^{-5} \approx 0.224 \text{ m}^3 = \boxed{224 \text{ Lit}}$$

31 -

$$P_i = P_0 + \rho gh = 1.013 \times 10^5 + 1000 \times 10 \times 0.5 = 2.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_r = P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$



$$\frac{P_r V_r}{T_r} = \frac{P_i V_i}{T_i} \rightarrow V_r = \frac{P_i V_i T_r}{P_r T_i} = \frac{2.013 \times 10^5 \times 2 \times 293}{1.013 \times 10^5 \times 273}$$

$$T = \theta + 273 \rightarrow \begin{cases} T_i = 273 \text{ K} \\ T_r = 293 \text{ K} \end{cases} \rightarrow V_r = 1.05 \text{ cm}^3 \approx \boxed{1 \text{ cm}^3}$$