وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: فیزیک (۱) ـ پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه ـ ۱۱۰۲۱۴
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: احمد احمدی، روح‌الله خلیلی بروجنی، محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی، سید هدایت سجادی، سیروان مردوخی و علیرضا نیکنام (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) ـ سید اکبر میرجعفری و محمد کاظم بهنیا (ویراستار ادبی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) ـ مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ محمّد مهدی ذبیحی (طراح جلد) ـ راحله زادفتح‌اله (طراح گرافیک و صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان فیروزآباد، کبری اجابتی، سیف‌الله بیک محمد دلیوند، شاداب ارشادی، زینت بهشتی شیرازی، حمید ثابت کلاجاهی (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دهم ۱۴۰۴

شابک ۹ـ۲۷۳۹ـ۰۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸
ISBN: 978_964_05_2739_9

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: فیزیک (۱) ـ پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه ـ ۱۱۰۲۱۴
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: احمد احمدی، روح‌الله خلیلی بروجنی، محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی، سید هدایت سجادی، سیروان مردوخی و علیرضا نیکنام (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) ـ سید اکبر میرجعفری و محمد کاظم بهنیا (ویراستار ادبی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) ـ مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ محمّد مهدی ذبیحی (طراح جلد) ـ راحله زادفتح‌اله (طراح گرافیک و صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان فیروزآباد، کبری اجابتی، سیف‌الله بیک محمد دلیوند، شاداب ارشادی، زینت بهشتی شیرازی، حمید ثابت کلاجاهی (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ نهم ۱۴۰۳

شابک ۹ـ۲۷۳۹ـ۰۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸
ISBN: 978_964_05_2739_9

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 15 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 15 — 2026-06-11 19:40:37 • diffpdf

۱ـ۲ مدل‌سازی در فیزیک

پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین‌کمان، 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 مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل‌سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

برای شناخت بهتر فرایند مدل‌سازی در فیزیک، حرکت یک توپ پرتاب‌شده را بررسی می‌کنیم (شکل ۱ـ۳ الف). ممکن است در نگاه اول، بررسی و تحلیل حرکت توپ، ساده به نظر برسد، ولی واقعیت برخلاف این است. توپ، یک کرهٔ 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 فاصلهٔ 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 مدل‌سازی حرکت توپ، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توپ را به‌طور ساده، امکان‌پذیر سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ، آن را به‌صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف‌نظر می‌کنیم. سرانجام فرض می‌کنیم با تغییر فاصلهٔ توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می‌ماند (شکل ۱ـ۳ ب). اینک مسئلهٔ ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

توجه داریم هنگام مدل‌سازی یک پدیدهٔ فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین‌کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبهٔ زمین را نادیده می‌گرفتیم، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی توپی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

مکانیک، یکی از شاخه‌های فیزیک است که در آن به بررسی حرکت اجسام و نیروهای واردشده به آنها می‌پردازد. شکل زیر، مثالی ساده از کاربرد مدل‌سازی در مکانیک است. در فصل سوم، از این مدل‌سازی استفادهٔ زیادی خواهیم کرد.

شکل ۱ـ۳ استفاده از یک مدل آرمانی برای ساده‌سازی تحلیل حرکت یک توپ بسکتبال در هوا

فیزیک و اندازه‌گیری

۱ـ۲ مدل‌سازی در فیزیک

پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین‌کمان، 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 مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل‌سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

برای شناخت بهتر فرایند مدل‌سازی در فیزیک، حرکت یک توپ پرتاب‌شده را بررسی می‌کنیم (شکل ۱ـ۳ الف). ممکن است در نگاه اول، بررسی و تحلیل حرکت توپ، ساده به نظر برسد، ولی واقعیت برخلاف این است. توپ، یک کرهٔ 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 فاصلهٔ 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 مدل‌سازی حرکت توپ، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توپ را به‌طور ساده، امکان‌پذیر سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ، آن را به‌صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف‌نظر می‌کنیم. سرانجام فرض می‌کنیم با تغییر فاصلهٔ توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می‌ماند (شکل ۱ـ۳ ب). اینک مسئلهٔ ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

توجه داریم هنگام مدل‌سازی یک پدیدهٔ فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین‌کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبهٔ زمین را نادیده می‌گرفتیم، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی توپی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

مکانیک، یکی از شاخه‌های فیزیک است که در آن به بررسی حرکت اجسام و نیروهای واردشده به آنها می‌پردازد. شکل زیر، مثالی ساده از کاربرد مدل‌سازی در مکانیک است. در فصل سوم، از این مدل‌سازی استفادهٔ زیادی خواهیم کرد.

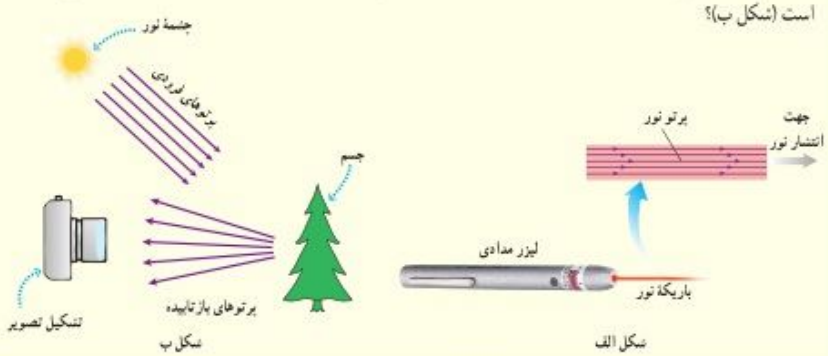
شکل ۱ـ۳ استفاده از یک مدل آرمانی برای ساده‌سازی تحلیل حرکت یک توپ بسکتبال در هوا

۵

...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 16 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 16 — 2026-06-11 19:40:38 • diffpdf

پرسش ۱ـ۱

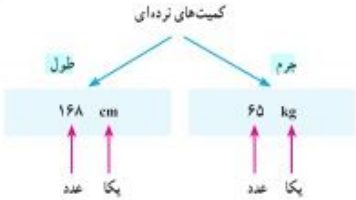
شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینهٔ نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل‌سازی شده است. این مدل‌سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به‌کار رفته است (شکل ب)؟



۱ـ۳ 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 ۱ـ۴). 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[۱]. با برخی از این کمیت‌ها مانند جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می‌گوییم جابه‌جایی دوچرخه‌سواری ۴۲ km به طرف شمال و سرعت متوسط آن ۲۵km/h به طرف شمال است، از دو کمیت برداری برای توصیف حرکت این دوچرخه‌سوار استفاده کرده‌ایم (شکل ۱ـ۵). 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 اندازهٔ آن کمیت برداری (شامل عدد و یکا) بیان شده است.



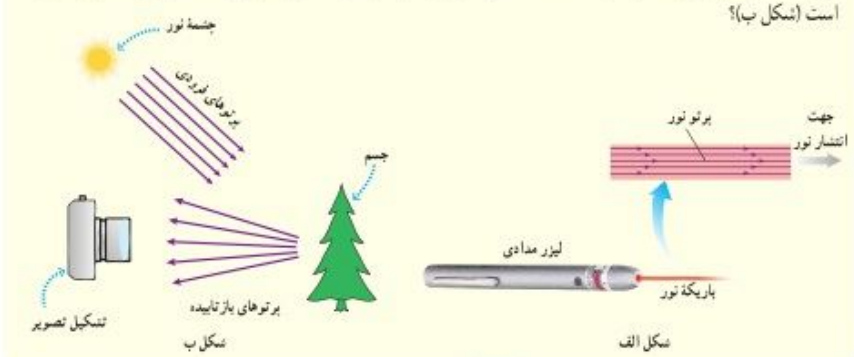
شکل ۱ـ۴ هر کمیت نرده‌ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!

شکل ۱ـ۵ 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!

۱ـ جمع و ضرب کمیت‌های برداری از قوانین جمع و ضرب برداری تبعیت می‌کند.

پرسش ۱ـ۱

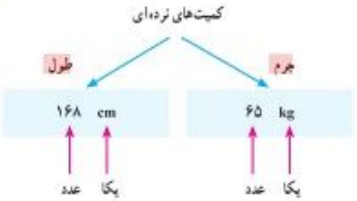
شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینهٔ نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل‌سازی شده است. این مدل‌سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به‌کار رفته است (شکل ب)؟



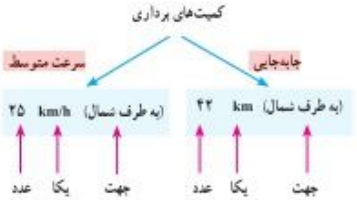
۱ـ۳ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

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 ۱ـ۴). 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[۱]. با برخی از این کمیت‌ها مانند جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می‌گوییم جابه‌جایی دوچرخه‌سواری ۴۲ km به طرف شمال و سرعت متوسط آن ۲۵km/h به طرف شمال است، از دو کمیت برداری برای توصیف حرکت این دوچرخه‌سوار استفاده کرده‌ایم (شکل ۱ـ۵). 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 اندازهٔ آن کمیت برداری (شامل عدد و یکا) بیان شده است.



شکل ۱ـ۴ هر کمیت نرده‌ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!



شکل ۱ـ۵ 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!

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 18 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 18 — 2026-06-11 19:40:38 • diffpdf

متر در آغاز به‌صورت یک‌ده‌میلیونیم این فاصله تعریف شد

شکل ۱ــ۶ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

طول : به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به‌صورت یک ده میلیونیم فاصلهٔ استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱ــ۶). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصلهٔ میان دو خط نازک حک‌شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین ــ ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجهٔ سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به‌کار می‌رود[1]. در جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.

جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها

طول (m)		طول (m)	
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان	$2/8\times10^{21}$	طول زمین فوتبال	9×10^{1}
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره	4×10^{16}	طول بدن نوعی مگس	5×10^{-3}
یک سال نوری	9×10^{15}	اندازهٔ ذرات کوچک گرد و خاک	1×10^{-4}
شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید	$1/5\times10^{11}$	اندازهٔ یاخته‌های بیشتر موجودات زنده	1×10^{-5}
فاصلهٔ میانگین ماه از زمین	$3/84\times10^{8}$	اندازهٔ بیشتر میکروب‌ها	$0/2$ــ2×10^{-6}
شعاع میانگین زمین	$6/4\times10^{6}$	قطر اتم هیدروژن	$1/06\times10^{-10}$
فاصلهٔ ماهواره‌های مخابراتی از سطح زمین	$3/6\times10^{7}$	قطر هستهٔ اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$1/75\times10^{-15}$

پرسش ۱ــ۲

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به‌صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

تمرین ۱ــ۱

الف) یکای نجومی[2] برابر میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است ($1AU\approx1/5\times10^{11}m$). با توجه به جدول ۱ــ۳، فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟

ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند[3]. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $3/00\times10^{8}$ متر بر ثانیه بگیرید.

پ) اخترش‌ها[4] دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومهٔ شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهدهٔ کیهان قرار دارند. فاصلهٔ اخترش‌ها از منظومهٔ شمسی $1/00\times10^{26}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

۱ــ نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲ــ Astronomical Unit ۳ــ light year ۴ــQuasars

متر در آغاز به‌صورت یک‌ده‌میلیونیم این فاصله تعریف شد

شکل ۱ــ۶ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

طول : به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به‌صورت یک ده میلیونیم فاصلهٔ استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱ــ۶). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصلهٔ میان دو خط نازک حک‌شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین ــ ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجهٔ سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به‌کار می‌رود[1]. در جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.

جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری‌شده

طول (m)		طول (m)	
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان	$2/8\times10^{21}$	طول زمین فوتبال	9×10^{1}
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره	4×10^{16}	طول بدن نوعی مگس	5×10^{-3}
یک سال نوری	9×10^{15}	اندازهٔ ذرات کوچک گرد و خاک	1×10^{-4}
شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید	$1/5\times10^{11}$	اندازهٔ یاخته‌های بیشتر موجودات زنده	1×10^{-5}
فاصلهٔ میانگین ماه از زمین	$3/84\times10^{8}$	اندازهٔ بیشتر میکروب‌ها	$0/2$ــ2×10^{-6}
شعاع میانگین زمین	$6/4\times10^{6}$	قطر اتم هیدروژن	$1/06\times10^{-10}$
فاصلهٔ ماهواره‌های مخابراتی از زمین	$3/6\times10^{7}$	قطر هستهٔ اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$1/75\times10^{-15}$

پرسش ۱ــ۲

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به‌صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

تمرین ۱ــ۱

الف) یکای نجومی[2] برابر میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است ($1AU\approx1/5\times10^{11}m$). با توجه به جدول ۱ــ۳، فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟

ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند[3]. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $3/00\times10^{8}$ متر بر ثانیه بگیرید.

پ) اخترش‌ها[4] دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومهٔ شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهدهٔ کیهان قرار دارند. فاصلهٔ اخترش‌ها از منظومهٔ شمسی $1/00\times10^{26}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

۱ــ نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲ــ Astronomical Unit ۳ــ light year ۴ــQuasars

...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 19 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 19 — 2026-06-11 19:40:39 • diffpdf

جرم : یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود. تا پیش از بیست‌وششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، یک‌کیلوگرم به‌صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین ــ ایریدیوم تعریف شده بود. این استوانه به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته است و در موزهٔ بِیُور فرانسه نگه‌داری می‌شود[1]. نسخه‌های کاملاً مشابهی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۱ــ۷).

در علوم سال هفتم با ابزارهای اندازه‌گیری جرم آشنا شدید. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۱ــ۴ آمده است.

شکل ۱ــ۷ استاندارد ملی کیلوگرم که نسخهٔ دقیقی از استاندارد بین‌المللی بیور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگه‌داری می‌شود.

جدول ۱ــ۴ مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها

	جرم (kg)		جرم (kg)
عالم قابل مشاهده	1×10^{53}	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	$7/34\times10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67\times10^{-27}$
کوسه	1×10^{2}	الکترون	$9/11\times10^{-31}$

زمان : در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶هـ.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به‌صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد[2]. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶هـ.ش به‌کار گرفته شد براساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید[3].

در بسیاری موارد نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد داریم. این مدت زمان را بازهٔ زمانی می‌نامیم. مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی در جدول ۱ــ۵ آمده است.

جدول ۱ــ۵ مقادیر تقریبی برخی از بازه‌های زمانی

	ثانیه
سن عالم	5×10^{17}
سن زمین	$1/43\times10^{17}$
میانگین عمر یک انسان	2×10^{9}
یک سال	$3/15\times10^{7}$
یک روز	$8/6\times10^{4}$
زمان بین دو ضربان عادی قلب	8×10^{-1}

فعالیت ۱ــ۲

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید[4].

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

۱ــ 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 بولتزمان (k) و مول براساس ثابت آووگادرو (N_A) باز تعریف شدند.

۲ــ یک روز خورشیدی، زمانِ بین ظاهرشدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطهٔ آسمان در هر روز است.

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

۴ــ خوب است نگاهی به وبگاه موزه علوم و فناوری www.irstm.ir نیز داشته باشید.

فیزیک و اندازه‌گیری

جرم : یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود. تا پیش از بیست‌وششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، یک‌کیلوگرم به‌صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین ــ ایریدیوم تعریف شده بود. این استوانه به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته است و در موزهٔ بِیُور فرانسه نگه‌داری می‌شود[1]. نسخه‌های کاملاً مشابهی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۱ــ۷).

در علوم سال هفتم با ابزارهای اندازه‌گیری جرم آشنا شدید. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۱ــ۴ آمده است.

شکل ۱ــ۷ استاندارد ملی کیلوگرم که نسخهٔ دقیقی از استاندارد بین‌المللی بیور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگه‌داری می‌شود.

جدول ۱ــ۴ مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها

	جرم (kg)		جرم (kg)
عالم قابل مشاهده	1×10^{53}	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	$7/34\times10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67\times10^{-27}$
کوسه	1×10^{2}	الکترون	$9/11\times10^{-31}$

زمان : در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶هـ.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به‌صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد[2]. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶هـ.ش به‌کار گرفته شد براساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید[3].

در بسیاری موارد نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد داریم. این مدت زمان را بازهٔ زمانی می‌نامیم. مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی در جدول ۱ــ۵ آمده است.

جدول ۱ــ۵ مقادیر تقریبی برخی از بازه‌های زمانی

	ثانیه
سن عالم	5×10^{17}
سن زمین	$1/43\times10^{17}$
میانگین عمر یک انسان	2×10^{9}
یک سال	$3/15\times10^{7}$
یک روز	$8/6\times10^{4}$
زمان بین دو ضربان عادی قلب	8×10^{-1}

فعالیت ۱ــ۲

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید[4].

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

۱ــ 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 بولتزمان (k) و مول براساس ثابت آووگادرو (N_A) باز تعریف شدند.

۲ــ یک روز خورشیدی، زمانِ بین ظاهرشدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطهٔ آسمان در هر روز است.

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

۴ــ خوب است نگاهی به وبگاه موزه علوم و فناوری www.irstm.ir نیز داشته باشید.

۹

...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 22 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 22 — 2026-06-11 19:40:40 • diffpdf

جدول ۱ــ۶ پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زِتا	Z	10^{-21}	زِپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	آتو	a
10^{15}	پِتا	P	10^{-15}	فِمتو	f
10^{12}	تِرا	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}	هِکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^{1}	دِکا	da	10^{-1}	دِسی	d

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

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

بدیهی است نوشتن چنین عددهایی به‌صورت 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 محاسبهٔ مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک ساده‌تر می‌شود.

اندازهٔ هر کمیت فیزیکی، که به‌صورت نمادگذاری علمی بیان می‌شود، باید شامل سه قسمت باشد. قسمت‌های اول و دوم، در برگیرندهٔ 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 ۱ــ۷ توجه کنید.

جدول ۱ــ۷ بیان اندازهٔ چند کمیت به‌صورت نمادگذاری علمی

نمونه	اندازهٔ کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به‌صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۴۰۲	۴۲ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ L	$4/20 \times 10^{13}$ L
تندی نور در هوا	۳۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ m/s	$3/00 \times 10^{8}$ m/s
طول تقریبی خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	۴۰۱۰۰ ۰۰۰ m	$4/01 \times 10^{7}$ m
حجم یک بشکه نفت	۱۵۹L	$1/59 \times 10^{2}$ L
قطر موی انسان	۰/۰۰۰ ۰۰۸ ۰۱ m	$8/01 \times 10^{-5}$ m
قطر اتم هیدروژن	۰/۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۱۰۶ m	$1/06 \times 10^{-10}$ m

جدول ۱ــ۶ پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زِتا	Z	10^{-21}	زِپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	آتو	a
10^{15}	پِتا	P	10^{-15}	فِمتو	f
10^{12}	تِرا	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}	هِکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^{1}	دِکا	da	10^{-1}	دِسی	d

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

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

بدیهی است نوشتن چنین عددهایی به‌صورت 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 محاسبهٔ مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک ساده‌تر می‌شود.

اندازهٔ هر کمیت فیزیکی، که به‌صورت نمادگذاری علمی بیان می‌شود، باید شامل سه قسمت باشد. قسمت‌های اول و دوم، در برگیرندهٔ 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 ۱ــ۷ توجه کنید.

جدول ۱ــ۷ بیان اندازهٔ چند کمیت به‌صورت نمادگذاری علمی

نمونه	اندازهٔ کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به‌صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۳۹۴	۲۶ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ L	$2/60 \times 10^{13}$ L
تندی نور در هوا	۳۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ m/s	$3/00 \times 10^{8}$ m/s
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	۳۸۹۰۰ ۰۰۰ m	$3/89 \times 10^{7}$ m
حجم یک بشکه نفت	۱۵۹L	$1/59 \times 10^{2}$ L
قطر موی انسان	۰/۰۰۰ ۰۰۸ ۰۱ m	$8/01 \times 10^{-5}$ m
قطر اتم هیدروژن	۰/۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۱۰۶ m	$1/06 \times 10^{-10}$ m

...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 31 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 31 — 2026-06-11 19:40:40 • diffpdf

ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است[1]. تندی کشتی قسمت (الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

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

۱ـ۵ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

۱۵ شکل زیر، صفحهٔ تندی‌سنج[2] یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت این تندی‌سنج 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 نحوهٔ کار کولیس و ریزسنج مدرج و ثبت نتیجهٔ 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.

(الف)

(ب)

۱ـ۶ چگالی

۱۷ الف) قطعه فلزی توپُر 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 $1/573 \times 10^3 cm^3$ و جرم $250/0 kg$ توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل زیر). چگالی این شمش طلا را به‌دست آورید.

پ) نتیجهٔ به‌دست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۱ـ۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.

۱ـ هر مایل در خشکی ۱۶۰۹ متر است.

۲ـ Speedometer

ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است[1]. تندی کشتی قسمت (الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

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

۱ـ۵ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

۱۵ شکل زیر، صفحهٔ تندی‌سنج[2] یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت این تندی‌سنج 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 نحوهٔ کار کولیس و ریزسنج مدرج و ثبت نتیجهٔ 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.

(الف)

(ب)

۱ـ۶ چگالی

۱۷ الف) قطعه فلزی‌ای 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 $1/573 \times 10^3 cm^3$ و جرم $250/0 kg$ توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل زیر). چگالی این شمش طلا را به‌دست آورید.

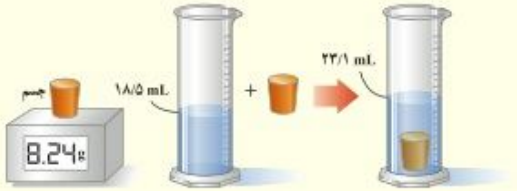
پ) نتیجهٔ به‌دست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۱ـ۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.

۱ـ هر مایل در خشکی ۱۶۰۹ متر است.

۲ـ Speedometer

diffpdf • 2026-06-11 19:40:41 — 32 • ft10_1404.pdf\تخصصی تجربی\10تجربی\Desktop\OneDrive\...an ≠ 32 • ft10_1403.pdf\تخصصی تجربی\10تجربی\Desktop\OneDrive\...an

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



ترازوی رقمی

۱۹ الف) ستاره‌های کوتولهٔ سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود ۱۰۰ میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد قوطی کبریت را با خط‌کش اندازه‌گیری کنید.
ب) اگر جمعیت کرهٔ زمین حدود ۸ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر ۶۰ کیلوگرم و مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتولهٔ سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همهٔ انسان‌ها در آن جای گیرند؟

ابوبکرمحمدبن حسین کرجی

ابوبکرمحمدبن حسین کرجی از دانشمندان ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری است هرچند 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 آل‌بویه، به تحصیل مشغول بود؛ در آنجا کتاب «الفخری فی‌صناعة الجبر و المقابله» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری‌قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب «انباط المیاه‌الخفیه» (به‌معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد. از تونه‌های کرجی می‌توان به میزان دانش وی دربارهٔ ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی پی برد. به‌عنوان نمونه، از بهره‌وری خاک رُس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن گفته است. کرجی همچنین در ارائهٔ روش‌ها و ساختن ابزارهای اندازه‌گیری در تاریخ مهندسی جایگاه والایی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندی (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، به تشریح اختراع‌های خود که دربرگیرندهٔ ترازو و چند وسیلهٔ اندازه‌گیری دیگر است، در این کتاب می‌پردازد.

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

ترازوی رقمی

۱۹ الف) ستاره‌های کوتولهٔ سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود ۱۰۰ میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد قوطی کبریت را با خط‌کش اندازه‌گیری کنید.
ب) اگر جمعیت کرهٔ زمین حدود ۸ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر ۶۰ کیلوگرم و مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتولهٔ سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همهٔ انسان‌ها در آن جای گیرند؟

ابوبکرمحمدبن حسین کرجی

ابوبکرمحمدبن حسین کرجی از دانشمندان ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری است هرچند 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 آل‌بویه، به تحصیل مشغول بود؛ در آنجا کتاب «الفخری فی‌صناعة الجبر و المقابله» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری‌قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب «انباط المیاه‌الخفیه» (به‌معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد. از تونه‌های کرجی می‌توان به میزان دانش وی دربارهٔ ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی پی برد. به‌عنوان نمونه، از بهره‌وری خاک رُس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن گفته است. کرجی همچنین در ارائهٔ روش‌ها و ساختن ابزارهای اندازه‌گیری در تاریخ مهندسی جایگاه والایی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندی (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، به تشریح اختراع‌های خود که دربرگیرندهٔ ترازو و چند وسیلهٔ اندازه‌گیری دیگر است، در این کتاب می‌پردازد.

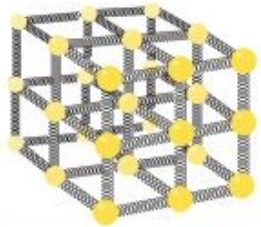
...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 34 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 34 — 2026-06-11 19:40:42 • diffpdf

۲ـ۱ حالت‌های ماده

شکل ۲ـ۱ چهار حالت ماده در این تصویر وجود دارد. یخ(جامد)، آب(مایع)، هوا(گاز) و خورشید(پلاسما)

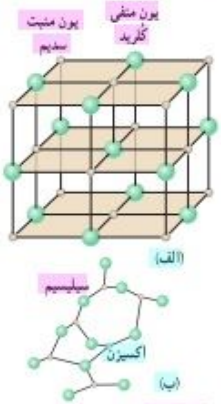
سال‌های قبل در درس علوم دیدید که به هر چیزی که فضا را اشغال کند (حجم داشته باشد) ماده می‌گوییم. مواد از ذره‌های ریزی به نام اتم یا مولکول ساخته شده‌اند. اندازهٔ اتم‌ها حدود یک تا چند انگستروم ($1\text{Å}=10^{-10}\text{m}$) است و اندازهٔ مولکول‌ها به این بستگی دارد که از چند اتم ساخته شده باشند. اندازهٔ برخی از درشت مولکول‌ها، مانند پَسپارها (پلیمرها)، می‌تواند تا ۱۰۰۰ انگستروم نیز باشد. ذره‌های سازندهٔ مواد همواره در حرکت‌اند و به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. حالت ماده به چگونگی حرکت این ذره‌ها و اندازهٔ نیروی بین آنها بستگی دارد.

جامد، مایع و گاز سه حالت آشنای ماده هستند که در این فصل به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی آنها خواهیم پرداخت. حالت چهارم ماده، پلاسما نامیده می‌شود که یکی از روش‌های تولید آن گرم کردن گاز تا دماهای بسیار بالاست به‌طوری‌که اتم‌ها به یون‌های مثبت و الکترون‌ها تجزیه شوند. مادهٔ درون ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، شعله‌های آتش یا دمای بسیار بالا و مادهٔ داخل لولهٔ تابان لامپ‌های مهتابی از پلاسما تشکیل شده است (شکل ۲ـ۱).



شکل ۲ـ۲ 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 می‌گیرد. اصطلاح‌های عصر حجر، عصر برنز، و عصر آهن اهمیت مواد جامد را در توسعهٔ تمدن‌های پیشین نشان می‌دهد. تجربهٔ روزمره نشان می‌دهد که جسم جامد، حجم و شکل معینی دارد. ذرات جسم جامد به سبب نیروهای الکتریکی که به یکدیگر وارد می‌کنند در کنار یکدیگر می‌مانند. این ذرات در مکان‌های معینی نسبت به یکدیگر قرار دارند و در اطراف این مکان‌ها، نوسان‌های بسیار کوچکی دارند.



شکل ۲ـ۳ (الف) ساختار بلورین NaCl، که در آن یون‌های سدیم و یون‌های کلرید به صورت یک در میان در گوشه‌های یک مکعب قرار گرفته‌اند. (ب) ذرات سازندهٔ یک جامد بی‌شکل، مانند سیلیسه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند.

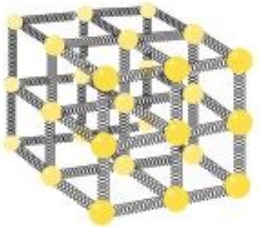
برای درک بهتر ساختار جسم جامد، معمولاً مدلی مطابق شکل ۲ـ۲ ارائه می‌دهند و فرض می‌کنند که ذرات آن توسط فنرهایی به یکدیگر متصل‌اند. اگر این ذرات نسبت به وضعیت تعادل، به هم نزدیک‌تر یا از هم دورتر شوند، نیروی کشسانی بین فنرها آنها را به وضع تعادل برمی‌گرداند و جسم جامد، شکل و اندازهٔ اولیه‌اش را حفظ می‌کند.

اتم‌های برخی از جامدها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های ۲ـ۳ـ الف کنار هم قرار می‌گیرند. جامدهایی را که در یک الگوی سه‌بعدی تکرارشونده از این واحدهای منظم ساخته می‌شود **جامد بلورین** می‌نامیم. فلزها، نمک‌ها، الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی جزو جامدهای بلورین‌اند. وقتی مایعی را به آهستگی سرد کنیم اغلب جامدهای بلورین تشکیل می‌شوند. در این فرایند سردسازی آرام، ذرات سازندهٔ مایع فرصت کافی دارند تا در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

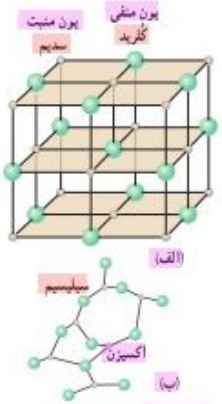
ذرات سازندهٔ **جامدهای بی‌شکل (آمُورف)** برخلاف جامدهای بلورین، در طرح‌های منظمی کنار هم قرار ندارند. شیشه، مثالی از یک جامد بی‌شکل است (شکل ۲ـ۳ـ ب). ماهیت آمُورف شیشه‌های طبیعی کاملاً پایدار است. گروه دیگری از مواد هستند که وقتی در حالت مایع یا بخار به سرعت سرد شوند جامد بی‌شکل به وجود می‌آید. فلزات مثالی از این دسته مواد هستند. در این فرایند سردسازی سریع، ذرات فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم، مرتب شوند. بنابراین در طرح نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. ولی وقتی این مواد تا دمای معینی گرم شوند به سرعت ساختار بلورین پیدا می‌کنند.

۲ـ۱ حالت‌های ماده

شکل ۲ـ۱ چهار حالت ماده در این تصویر وجود دارد. یخ(جامد)، آب(مایع)، هوا(گاز) و خورشید(پلاسما)



شکل ۲ـ۲ مدلی از ساختار یک جامد که از میلیاردها میلیارد بخش، مانند این تشکیل شده است.



شکل ۲ـ۳ (الف) ساختار بلورین NaCl، که در آن یون‌های سدیم و یون‌های کلرید به صورت یک در میان در گوشه‌های یک مکعب قرار گرفته‌اند. (ب) ذرات سازندهٔ یک جامد بی‌شکل، مانند سیلیسه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 36 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 36 — 2026-06-11 19:40:43 • diffpdf

شکل ۲ــ۷ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

گاز : 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[1]. فاصلهٔ میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازهٔ آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازهٔ مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ انگستروم است در حالی که فاصلهٔ میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود ۳۵Å است (شکل ۲ــ۶).

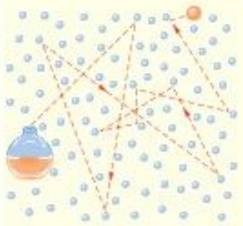
فعالیت ۲ــ۲

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

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

پرسش ۲ــ۱

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



خوب است بدانید

پلاسما : اگر این مطلب را زیر نور لامپ مهتابی می‌خوانید برای یافتن پلاسما لازم نیست راه دوری بروید. مادهٔ داخل لولهٔ تابان لامپ مهتابی، پلاسماست. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد (چندین هزار درجهٔ سلسیوس به بالا) گرم شود، یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. مادهٔ 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، پلاسما نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده نیز یاد می‌کنند (شکل‌های الف و ب).

۱ــ تندی مولکول‌های هوا در دمای اتاق حدود ۵۰۰m/s است.

شکل ۲ــ۷ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

گاز : 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[1]. فاصلهٔ میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازهٔ آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازهٔ مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ انگستروم است در حالی که فاصلهٔ میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود ۳۵Å است (شکل ۲ــ۶).

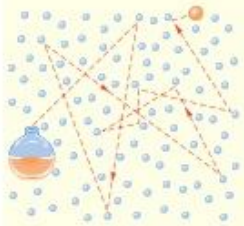
فعالیت ۲ــ۲

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

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

پرسش ۲ــ۱

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

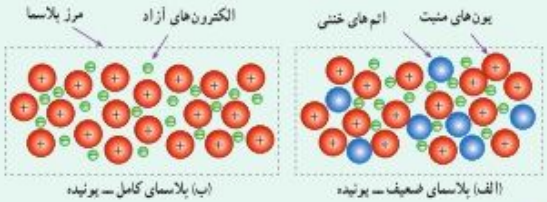


خوب است بدانید

اگر این مطلب را زیر نور لامپ مهتابی می‌خوانید برای یافتن پلاسما لازم نیست راه دوری بروید. مادهٔ داخل لولهٔ تابان لامپ مهتابی، پلاسماست. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد (چندین هزار درجهٔ سلسیوس به بالا) گرم شود، یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. مادهٔ 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، پلاسما نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده نیز یاد می‌کنند (شکل‌های الف و ب).

۱ــ تندی مولکول‌های هوا در دمای اتاق حدود ۵۰۰m/s است.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 37 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 37 — 2026-06-11 19:40:43 • diffpdf



قسمت عمده‌ای از جهان قابل مشاهده، از پلاسما تشکیل شده است. خورشید، ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، برخی از لایه‌های بالایی جو زمین، آذرخش، شفق‌های قطبی و شعله‌های آتش از جنس پلاسما هستند. پلاسما به طور طبیعی روی زمین به ندرت یافت می‌شود. در انفجارهای هسته‌ای، راکتورهای گداخت هسته‌ای و ... پلاسما را می‌توان به طور مصنوعی ایجاد کرد. افزون بر اینها پلاسمای درون لامپ‌های نئون و مهتابی (حاوی گازهای جیوه و آرگون)، که بر اثر تخلیهٔ الکتریکی تابش می‌کند، سال‌هاست به عنوان چشمه‌های نور در زندگی روزمرهٔ ما به کار می‌روند.

پلاسما، بر خلاف گاز، رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرماست. بین ذرات پلاسما نیروی الکتریکی وجود دارد. ماهیت بلندبُرد بودن این نیرو، در رفتار پلاسما نقش مهمی ایفا می‌کند. توجه به ویژگی‌های خاص پلاسما و بهره‌مندی از آن، سبب کاربردهای فراوانی در صنعت، فناوری، پزشکی، دندانپزشکی و .... شده است. از جملهٔ این کاربردها می‌توان به نمایشگرهای صفحه تخت، ابزارهای جوش، برش و سوراخ‌کاری، چشمه‌های نور و مبدل‌های انرژی، سوزن‌های پلاسمایی و ... اشاره کرد (شکل‌های زیر). در چند دههٔ اخیر، فیزیک پلاسما به یکی از رشته‌های رو به رشد و پرکاربرد فیزیک تبدیل شده است.

خوب است بدانید

ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

علم نانو یکی از شاخه‌های جدید علوم است که به دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می‌کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

مثلاً نقطهٔ ذوب طلا ($1064^\circ C$) را می‌توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و درستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به $1064^\circ C$ می‌رسد طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توده‌ای از طلای مایع درمی‌آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعهٔ بزرگ طلا، که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای را که قطر آن تنها چند نانومتر ($1nm = 1 \times 10^{-9}m$) است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب طلا فقط $427^\circ C$ است. آیا اشتباه

اغلب گفته می‌شود ۹۹ درصد از جهان قابل مشاهده، از پلاسما تشکیل شده است. خورشید، ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، برخی از لایه‌های بالایی جو زمین، آذرخش، شفق‌های قطبی و شعله‌های آتش با دمای بسیار بالا، از جنس پلاسما هستند. پلاسما به طور طبیعی روی زمین به ندرت یافت می‌شود. در انفجارهای هسته‌ای، راکتورهای گداخت هسته‌ای و ... پلاسما را می‌توان به طور مصنوعی ایجاد کرد. افزون بر اینها پلاسمای درون لامپ‌های نئون و مهتابی (حاوی گازهای جیوه و آرگون)، که بر اثر تخلیهٔ الکتریکی تابش می‌کند، سال‌هاست به عنوان چشمه‌های نور در زندگی روزمرهٔ ما به کار می‌روند.

پلاسما، بر خلاف گاز، رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرماست. بین ذرات پلاسما نیروی الکتریکی وجود دارد. ماهیت بلندبُرد بودن این نیرو، در رفتار پلاسما نقش مهمی ایفا می‌کند. توجه به ویژگی‌های خاص پلاسما و بهره‌مندی از آن، سبب کاربردهای فراوانی در صنعت، فناوری، پزشکی، دندانپزشکی و .... شده است. از جملهٔ این کاربردها می‌توان به نمایشگرهای صفحه تخت، ابزارهای جوش، برش و سوراخ‌کاری، چشمه‌های نور و مبدل‌های انرژی، سوزن‌های پلاسمایی و ... اشاره کرد (شکل‌های زیر). در چند دههٔ اخیر، فیزیک پلاسما به یکی از رشته‌های رو به رشد و پرکاربرد فیزیک تبدیل شده است.

خوب است بدانید

ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

علم نانو یکی از شاخه‌های جدید علوم است که به دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می‌کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

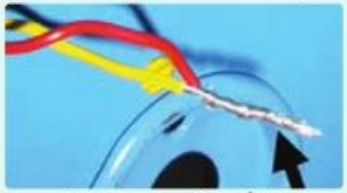
مثلاً نقطهٔ ذوب طلا ($1064^\circ C$) را می‌توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و درستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به $1064^\circ C$ می‌رسد طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توده‌ای از طلای مایع درمی‌آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعهٔ بزرگ طلا، که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای را که قطر آن تنها چند نانومتر ($1nm = 1 \times 10^{-9}m$) است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب طلا فقط $427^\circ C$ است. آیا اشتباه

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 38 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 38 — 2026-06-11 19:40:44 • diffpdf

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 نقطهٔ ذوب طلا، یا کم‌شدن اندازهٔ آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازهٔ 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 : نقطهٔ 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 همهٔ 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 نانومقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانولایه‌ها نیز همچون نانوذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

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[1] تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سرِ دو سیم آلومینیمی را مطابق شکل روبه‌رو به هم وصل می‌کنیم، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟ برای



سیم‌های آلومینیمی که روی هم پیچیده شده‌اند.

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 مرتبهٔ 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 سیم دیگر می‌روند.

۲ـ۲ نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲ـ۲ دیدید که متراکم کردن آب درون سرنگ عملاً امکان‌پذیر نیست. برای توجیه پدیده‌هایی مشابه این، باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. وقتی سعی می‌کنیم فاصلهٔ بین مولکول‌های مایع را کم کنیم نیروی دافعهٔ بزرگی بین آنها ظاهر می‌شود که از تراکم‌پذیری مایع جلوگیری می‌کند. همین‌طور وقتی مولکول‌های مایع را کمی از هم دور کنیم، نیروی جاذبه بین آنها ظاهر می‌شود. نیروهای جاذبهٔ بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای جاذبهٔ بین مولکول‌های آب را نیروی هم‌چسبی می‌نامیم. در شکل ۲ـ۷ این جاذبه در قطرهٔ آب آویزان از شاخهٔ درخت دیده می‌شود.

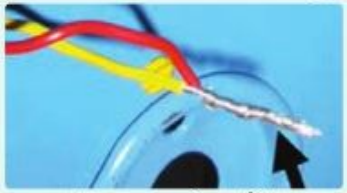
نیروهای بین مولکولی کوتاه‌بُرد هستند، یعنی وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها چند برابر فاصلهٔ بین‌مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد.

۱ـ یاقوت سرخ نام دیگر آلومینیم اکسید است که یکی از سنگ‌های باارزش در جواهرسازی است.

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 نقطهٔ ذوب طلا، یا کم‌شدن اندازهٔ آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازهٔ 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 : نقطهٔ 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 همهٔ 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 نانومقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانولایه‌ها نیز همچون نانوذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

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[1] تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سرِ دو سیم آلومینیمی را مطابق شکل روبه‌رو به هم وصل می‌کنیم، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟ برای



سیم‌های آلومینیمی که روی هم پیچیده شده‌اند.

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 مرتبهٔ 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 سیم دیگر می‌روند.

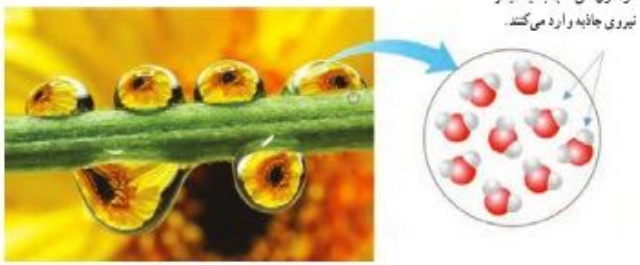
۲ـ۲ نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲ـ۲ دیدید که متراکم کردن آب درون سرنگ عملاً امکان‌پذیر نیست. برای توجیه پدیده‌هایی مشابه این، باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. به‌طورکلی، نیروهای بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای بین مولکول‌های آب را نیروی هم‌چسبی می‌نامیم (شکل ۲ـ۷). وقتی سعی می‌کنیم فاصلهٔ بین مولکول‌های مایع را کم کنیم نیروی دافعهٔ بزرگی بین آنها ظاهر می‌شود که از تراکم‌پذیری مایع جلوگیری می‌کند. همین‌طور وقتی مولکول‌های مایع را کمی از هم دور کنیم، نیروی جاذبهٔ بین آنها ظاهر می‌شود. این جاذبه در قطرهٔ آب آویزان از شاخهٔ درخت دیده می‌شود.

نیروهای بین مولکولی کوتاه‌بُرد هستند، یعنی وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها چند برابر فاصلهٔ بین‌مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد.

۱ـ یاقوت سرخ نام دیگر آلومینیم اکسید است که یکی از سنگ‌های باارزش در جواهرسازی است.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 39 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 39 — 2026-06-11 19:40:45 • diffpdf



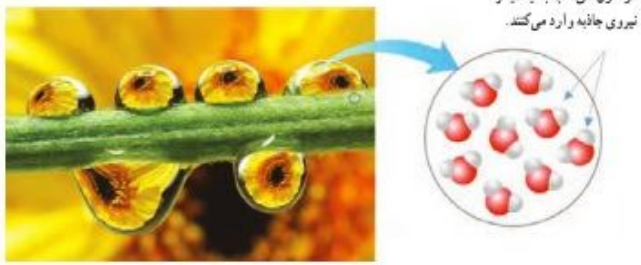
شکل ۲ــ ۷ قطره‌های شبنمی که روی نماخ و برگ درختان در نور خورشید صبحگاهی می‌درخشند، نشانه‌ای از نیروی جاذبهٔ بین مولکول‌های آب است.

پرسش ۲ــ۲

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

کشش سطحی : نشستن یا راه رفتن برخی حشره‌ها روی سطح آب (شکل ۲ــ۸ــ الف)، شناور ماندن گیرهٔ فلزی کاغذی روی سطح آب (شکل ۲ــ۸ــ ب) و تشکیل حباب‌های آب و صابون (شکل ۲ــ۸ــ پ) تنها نمونه‌هایی از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از نیروهای بین‌مولکولی در سطح مایع است. به دلیل نیروهای ربایشی که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوستهٔ 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 ۲ــ۸ــ 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.

شکل ۲ــ ۸ (الف) نشستن حشره روی سطح آب، (ب) قرارگرفتن گیرهٔ فلزی روی سطح آب، (پ) تشکیل حباب‌های آب و صابون و (ت) قطره‌های کروی آب در حال سقوط آزاد. جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.



شکل ۲ــ ۷ قطره‌های شبنمی که روی نماخ و برگ درختان در نور خورشید صبحگاهی می‌درخشند، نشانه‌ای از نیروی جاذبهٔ بین مولکول‌های آب است.

پرسش ۲ــ۲

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

کشش سطحی : نشستن یا راه رفتن برخی حشره‌ها روی سطح آب (شکل ۲ــ۸ــ الف)، شناور ماندن گیرهٔ فلزی کاغذی روی سطح آب (شکل ۲ــ۸ــ ب) و تشکیل حباب‌های آب و صابون (شکل ۲ــ۸ــ 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 پوستهٔ 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 ۲ــ۸ــ 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.

شکل ۲ــ ۸ (الف) نشستن حشره روی سطح آب، (ب) قرارگرفتن گیرهٔ فلزی روی سطح آب، (پ) تشکیل حباب‌های آب و صابون و (ت) قطره‌های کروی آب در حال سقوط آزاد. جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 42 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 42 — 2026-06-11 19:40:45 • diffpdf

برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر مویینگی آب و جیوه، باید به نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی توجه کرده و اندازهٔ 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 ۲ــ۱۰ــالف 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 ۲ــ۱۰ــت سطح جیوه در لولهٔ مویین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

فعالیت ۲ــ۶

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مویینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای مویین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند.

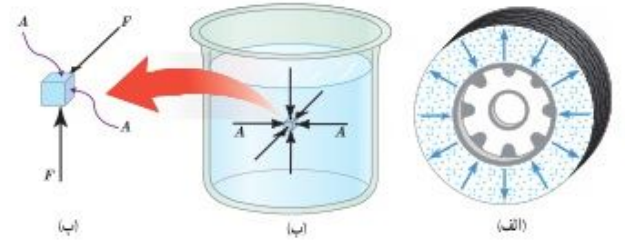
تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندودکردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

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

۲ــ۳ فشار در شاره‌ها

وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جدارهٔ یک ظرف یا سطح جسمی که در شاره غوطه‌ور است، نیرویی عمودی وارد می‌کند (شکل ۲ــ۱۱). این همان نیرویی است که وقتی درون آب استخری قرار دارید روی پردهٔ گوش احساس می‌کنید.

با وجود اینکه شاره به عنوان یک کل ساکن است، مولکول‌های آن در حال حرکت‌اند؛ نیرویی که توسط شاره به دیوارهٔ 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 فاصلهٔ متوسط بین مولکول‌ها زیاد است، تقریباً تمام این نیرو ناشی از برخورد مولکول‌های گاز است.



شکل ۲ــ۱۱ (الف) برخورد مولکول‌های هوای درون لاستیک به سطح داخلی آن سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود. (ب) به هر نقطه از سطح جسم غوطه‌ور در شاره (آب) نیرویی عمودی وارد می‌شود. (ب) برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.

برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر مویینگی آب و جیوه، باید به نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی توجه کرده و اندازهٔ 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 ۲ــ۱۰ــالف 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 ۲ــ۱۰ــت سطح جیوه در لولهٔ مویین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

فعالیت ۲ــ۶

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مویینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای مویین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند.

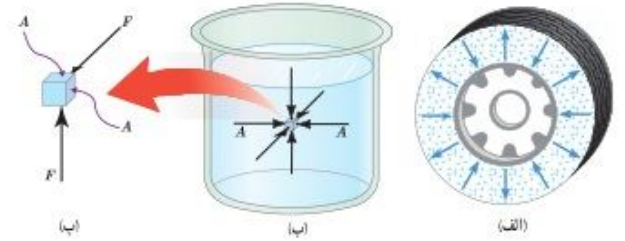
تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندودکردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

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

۲ــ۳ فشار در شاره‌ها

وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جدارهٔ یک ظرف یا سطح جسمی که در شاره غوطه‌ور است، نیرویی عمودی وارد می‌کند (شکل ۲ــ۱۱). این همان نیرویی است که وقتی درون آب استخری قرار دارید روی پردهٔ گوش احساس می‌کنید.

با وجود اینکه شاره به عنوان یک کل ساکن است، مولکول‌های آن در حال حرکت‌اند؛ نیرویی که توسط شاره به دیوارهٔ 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 فاصلهٔ متوسط بین مولکول‌ها زیاد است، تقریباً تمام این نیرو ناشی از برخورد مولکول‌های گاز است.



شکل ۲ــ۱۱ (الف) برخورد مولکول‌های هوای درون لاستیک به سطح داخلی آن سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود. (ب) به هر نقطه از سطح جسم غوطه‌ور در شاره (آب) نیرویی عمودی وارد می‌شود. (ب) برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 43 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 43 — 2026-06-11 19:40:46 • diffpdf

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

$$P=\frac{F}{A} \qquad (۱ـ۲)$$

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

$$۱\text{Pa}=۱\text{N}/۱\text{m}^۲$$

مثال ۲ـ۱

یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل روبه‌رو). این زیردریایی تعدادی پنجرهٔ کوچک دایره‌ای‌شکل به شعاع $۰/۴۰\,\text{m}$ دارد.

اگر فشار در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر $۹/۰\times۱۰^۵\,\text{Pa}$ باشد، بزرگی نیروی عمودی ناشی از این فشار بر سطح خارجی هر پنجره چقدر است؟

پاسخ : مساحت پنجره برابر است با :

$$A=\pi r^۲=۳/۱۴\times(۰/۴۰\,\text{m})^۲=۰/۵۰\,\text{m}^۲$$

به این ترتیب از رابطهٔ (۲ـ۱) داریم :

$$F=PA=(۹/۰\times۱۰^۵\,\text{Pa})\times(۰/۵۰\,\text{m}^۲)=۴/۵\times۱۰^۵\,\text{N}$$

این نیرو تقریباً معادل وزن جسمی به جرم $۴/۵\times۱۰^۴\,\text{kg}$ است!

محاسبهٔ فشار در شاره‌ها : در علوم سال نهم دیدید فشار هوا در ارتفاع‌های بالا کمتر از فشار در سطح دریاست، به همین دلیل باید در حین پرواز، فشار هوای کابین هواپیما را برای سلامت سرنشینان تنظیم کنند. وقتی به درون قسمت عمیق استخری شیرجه می‌زنید، با افزایش عمق از سطح آب، افزایش فشار را روی گوش‌های خود احساس می‌کنید. همچنین با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش شکل ۲ـ۱۲ دیدید که با افزایش عمق از سطح شاره، فشار ناشی از شاره نیز افزایش می‌یابد. در ادامه می‌خواهیم یک رابطهٔ کلی برای محاسبهٔ فشار در هر نقطهٔ دلخواه درون یک شارهٔ ساکن به‌دست آوریم. به این منظور، فرض می‌کنیم شتاب گرانش g و چگالی شاره، یکنواخت و برابر ρ باشند.

شکل ۲ـ۱۳ با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ایجادشده در بطری، با سرعت‌های متفاوت خارج می‌شود. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟ اگر بخواهید با انگشتان خود هم‌زمان سوراخ‌ها را ببندید، کدام انگشت فشار بیشتری را حس می‌کند؟

در شکل ۲ـ۱۳ـ 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 می‌شود در شکل ۲ـ۱۳ـ ب نشان داده شده است. چون شاره در حال تعادل است، نیروها متوازن‌اند و برایند آنها صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم :

$$F_۲=F_۱+mg$$

$$P_۲A=P_۱A+mg$$

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

$$P=\frac{F}{A} \qquad (۱ـ۲)$$

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

$$۱\text{Pa}=۱\text{N}/۱\text{m}^۲$$

مثال ۲ـ۱

یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل روبه‌رو). این زیردریایی تعدادی پنجرهٔ کوچک دایره‌ای‌شکل به شعاع $۰/۴۰\,\text{m}$ دارد.

اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر $۹/۰\times۱۰^۵\,\text{Pa}$ باشد، بزرگی نیروی عمودی که آب بر سطح خارجی یکی از این پنجره‌ها وارد می‌کند چقدر است؟

پاسخ : مساحت پنجره برابر است با :

$$A=\pi r^۲=۳/۱۴\times(۰/۴۰\,\text{m})^۲=۰/۵۰\,\text{m}^۲$$

به این ترتیب از رابطهٔ (۲ـ۱) داریم :

$$F=PA=(۹/۰\times۱۰^۵\,\text{Pa})\times(۰/۵۰\,\text{m}^۲)=۴/۵\times۱۰^۵\,\text{N}$$

این نیرو تقریباً معادل وزن جسمی به جرم $۴/۵\times۱۰^۴\,\text{kg}$ است!

محاسبهٔ فشار در شاره‌ها : در علوم سال نهم دیدید فشار هوا در ارتفاع‌های بالا کمتر از فشار در سطح دریاست، به همین دلیل باید در حین پرواز، فشار هوای کابین هواپیما را برای سلامت سرنشینان تنظیم کنند. وقتی به درون قسمت عمیق استخری شیرجه می‌زنید، با افزایش عمق از سطح آب، افزایش فشار را روی گوش‌های خود احساس می‌کنید. همچنین با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش شکل ۲ـ۱۲ دیدید که با افزایش عمق از سطح شاره، فشار ناشی از شاره نیز افزایش می‌یابد. در ادامه می‌خواهیم یک رابطهٔ کلی برای محاسبهٔ فشار در هر نقطهٔ دلخواه درون یک شارهٔ ساکن به‌دست آوریم. به این منظور، فرض می‌کنیم شتاب گرانش g و چگالی شاره، یکنواخت و برابر ρ باشند.

شکل ۲ـ۱۳ با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ایجادشده در بطری، با فشار متفاوت خارج می‌شود. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

در شکل ۲ـ۱۳ـ 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 می‌شود در شکل ۲ـ۱۳ـ ب نشان داده شده است. چون شاره در حال تعادل است، نیروها متوازن‌اند و برایند آنها صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم :

$$F_۲=F_۱+mg$$

$$P_۲A=P_۱A+mg$$

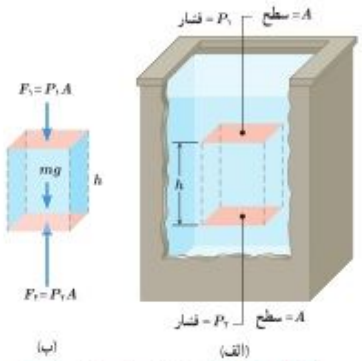
...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 44 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 44 — 2026-06-11 19:40:47 • diffpdf

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

$$P_2=P_1+\rho gh \qquad (۲ـ۲)$$

معمولاً رابطهٔ ۲ـ۲ را بر حسب عمق از سطح شاره بیان می‌کنند (شکل ۲ـ۱۴). به این منظور نقطهٔ ۱ را در سطح شاره می‌گیرند که فشار برابر P_1 است[1]. نقطهٔ ۲ را در هر جایی درون شاره می‌توان گرفت. فشار در این نقطه را با P نمایش می‌دهیم. به این ترتیب داریم :

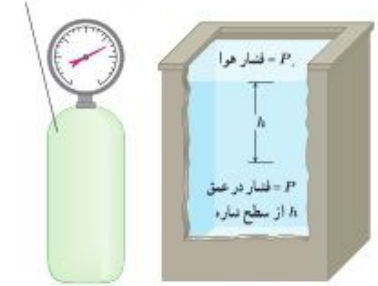
$$P=P_0+\rho gh \qquad (۳ـ۲)$$



شکل ۲ـ۱۳ (الف) بخشی از شاره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شاره در راستای قائم.

این رابطه نشان می‌دهد فشار در عمق h از سطح شاره، به اندازهٔ ρgh از فشار P_0 در سطح شاره بیشتر است. همان‌طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود $1/013\times10^5$ پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می‌گویند. رابطه‌های ۲ـ۲ و ۲ـ۳ برای همهٔ شاره‌های ساکن و در حال تعادل کاربرد دارد. یعنی هم برای مایع‌ها و هم برای گازها می‌توان از آن استفاده کرد. مثلاً می‌توان اختلاف فشار آب در عمق‌های متفاوت یک اقیانوس یا اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه‌ها حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه‌های کوچک گاز، مانند شکل ۲ـ۱۵، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.

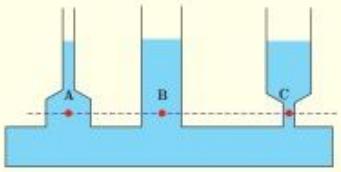
فشار گاز در تمام نقاط یک محفظه کوچک را می‌توان یکسان فرض کرد.



شکل ۲ـ۱۵ شکل ۲ـ۱۴

پرسش ۲ـ۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطهٔ ۲ـ۳ توضیح دهید.



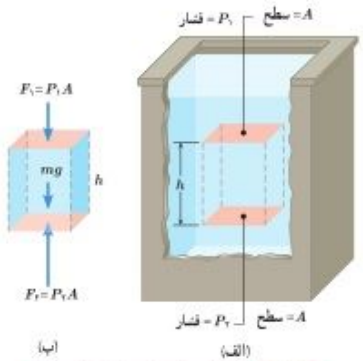
۱ـ زیرنویس صفر برای عمق صفر است. معمولاً فشار هوا را در سطح آزاد دریا با زیرنویس صفر نمایش می‌دهند.

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

$P_2=P_1+\rho gh$ (۲ـ۲)

معمولاً رابطهٔ ۲ـ۲ را بر حسب عمق از سطح شاره بیان می‌کنند (شکل ۲ـ۱۴). به این منظور نقطهٔ ۱ را در سطح شاره می‌گیرند که فشار برابر P_1 است[1]. نقطهٔ ۲ را در هر جایی درون شاره می‌توان گرفت. فشار در این نقطه را با P نمایش می‌دهیم. به این ترتیب داریم :

$P=P_0+\rho gh$ (۳ـ۲)



شکل ۲ـ۱۳ (الف) بخشی از شاره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شاره در راستای قائم.

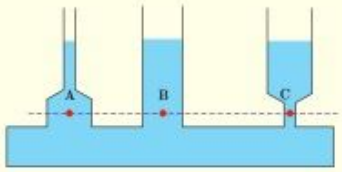
این رابطه نشان می‌دهد فشار در عمق h از سطح شاره، به اندازهٔ ρgh از فشار P_0 در سطح شاره بیشتر است. همان‌طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود $1/013\times10^5$ پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می‌گویند. رابطه‌های ۲ـ۲ و ۲ـ۳ برای همهٔ شاره‌های ساکن و در حال تعادل کاربرد دارد. یعنی هم برای مایع‌ها و هم برای گازها می‌توان از آن استفاده کرد. مثلاً می‌توان اختلاف فشار آب در عمق‌های متفاوت یک اقیانوس یا اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه‌ها حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه‌های کوچک گاز، مانند شکل ۲ـ۱۵، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.

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

شکل ۲ـ۱۵ شکل ۲ـ۱۴

پرسش ۲ـ۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطهٔ ۲ـ۳ توضیح دهید.



۱ـ زیرنویس صفر برای عمق صفر است. معمولاً فشار هوا را در سطح آزاد دریا با زیرنویس صفر نمایش می‌دهند.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 46 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 46 — 2026-06-11 19:40:47 • diffpdf

تمرین ۲ــ۱

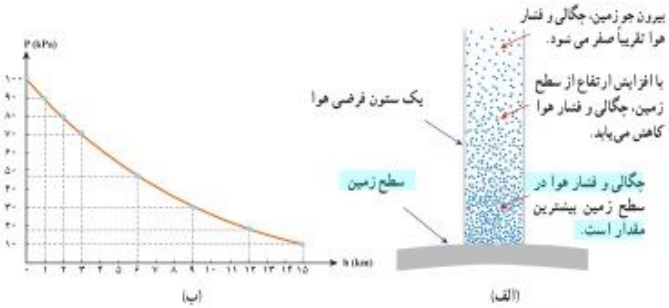
شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. الف) فشار در این عمق چقدر است؟ ب) اگر مساحت پردهٔ گوش را یک سانتی‌متر مربع ($1cm^2$) فرض کنیم، بزرگی نیروی ناشی از این فشارکه به پردهٔ گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1/01 \times 10^5 Pa$ بگیرید.

تمرین ۲ــ۲

جسمی مکعبی به طول ضلع ۲۰cm درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل رویه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰۵ کیلوپاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی : از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کنید.)

برای محاسبهٔ اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار فلهٔ دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه و در نظر گرفتن چگالی $1/29\ kg/m^3$ برای هوا، ۷۱ kPa به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به ۵۰ kPa است!

برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۲ــ۱۶ــ الف). محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲ــ۱۶ــ ب است. نیروی جاذبهٔ زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا متراکم‌تر شوند. درنتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.



شکل ۲ــ۱۷ (الف) با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می‌یابد. (ب) نمودار فشار هوا برحسب ارتفاع از سطح دریای آزاد.

تمرین ۲ــ۱

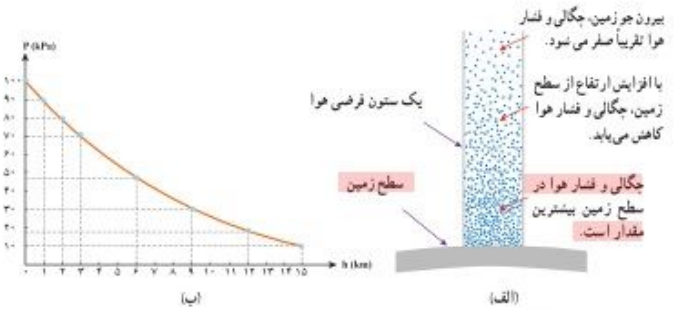
شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. فشار در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پردهٔ گوش را یک سانتی‌متر مربع ($1cm^2$) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پردهٔ گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1/01 \times 10^5 Pa$ بگیرید.

تمرین ۲ــ۲

جسمی مکعبی به طول ضلع ۲۰cm درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل رویه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰۵ کیلوپاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی : از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کنید.)

برای محاسبهٔ اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار فلهٔ دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه، حدود ۷۴ kPa به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به ۵۰ kPa است!

برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۲ــ۱۶ــ الف). محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲ــ۱۶ــ ب است. نیروی جاذبهٔ زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا متراکم‌تر شوند. درنتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.



شکل ۲ــ۱۷ (الف) با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می‌یابد. (ب) نمودار فشار هوا برحسب ارتفاع از سطح دریای آزاد.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 47 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 47 — 2026-06-11 19:40:48 • diffpdf

تمرین ۲ــ ۳

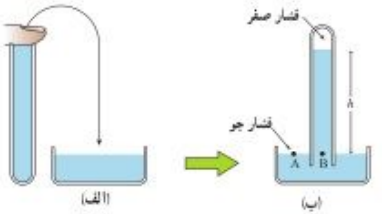
یکی از یکاهای مرسوم برای سنجش فشار بار (bar) است. به طوری که :

$$1\,bar = 1/000 \times 10^5\,N/m^2 = 1/000 \times 10^5 Pa$$

یک ستون فرضی از هوا به سطح مقطع $1m^2$ در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جوّ زمین ادامه می‌یابد (شکل روبه‌رو). اگر فشار هوا را در سطح دریا 1bar در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ با توجه به شکل ۲ــ۱۶ــ ب، چند درصد این جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

فشارسنج هوا (بارومتر) : وسیله‌ای ساده که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود. این فشارسنج در سال۱۶۴۳ میلادی توسط توریچلّی فیزیک‌دان ایتالیایی اختراع شد.

فشارسنج هوا شامل یک لولهٔ شیشه‌ای بلند (به طول تقریبی ۸۰ سانتی‌متر) با یک سر بسته است که از جیوه پر شده (شکل ۲ــ۱۷ــالف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۲ــ۱۷ــ ب)[1]. فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.

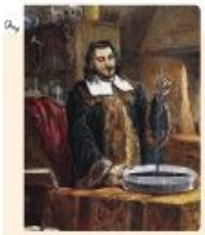


شکل ۲ــ ۱۷ فشارسنج جیوه‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

فشار در نقطهٔ B برابر ρgh و در نقطهٔ A برابر P_0 است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، می‌توان نوشت :

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = 0 + \rho gh \Rightarrow P_0 = \rho gh \qquad (۴ــ۲)$$

بنابراین فشارسنج هوا، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جیوه نشان می‌دهد که در سطح دریای آزاد این ارتفاع حدود 760mm است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg) بیان می‌شود[2].



اونجلیستا توریچلّی (۱۶۴۷ــ۱۶۰۸م) یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان ایتالیایی و از شاگردان گالیله بود. هرچند توریچلّی فعالیت‌هایی 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 جیوهٔ درون لوله، خلأ نسبی ایجاد کند که به خلأ توریچلّی شناخته می‌شود.

۱ــ چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است و می‌تواند جذب پوست یا مخاط تنفسی شود، انجام این کار توصیه نمی‌شود.

۲ــ به افتخار توریچلّی، 1mmHg را یک تور (torr) می‌نامند.

تمرین ۲ــ ۳

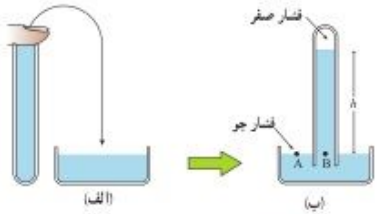
در هواشناسی و روی نقشه های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده می‌کنند. به طوری که داریم :

$$1\,bar = 1/000 \times 10^5\,N/m^2 = 1/000 \times 10^5 Pa$$

یک ستون فرضی از هوا به سطح مقطع $1m^2$ در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جوّ زمین ادامه می‌یابد (شکل روبه‌رو). اگر فشار هوا را در سطح دریا 1bar در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ با توجه به شکل ۲ــ۱۶ــ ب، چند درصد این جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

فشارسنج هوا (بارومتر) : وسیله‌ای ساده که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود. این فشارسنج در سال۱۶۴۳ میلادی توسط توریچلّی فیزیک‌دان ایتالیایی اختراع شد.

فشارسنج هوا شامل یک لولهٔ شیشه‌ای بلند (به طول تقریبی ۸۰ سانتی‌متر) با یک سر بسته است که از جیوه پر شده (شکل ۲ــ۱۷ــالف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۲ــ۱۷ــ ب)[1]. فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.

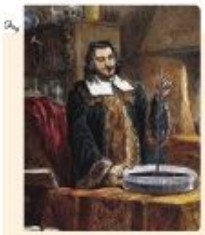


شکل ۲ــ ۱۷ فشارسنج جیوه‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

فشار در نقطهٔ B برابر ρgh و در نقطهٔ A برابر P_0 است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، می‌توان نوشت :

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = 0 + \rho gh \Rightarrow P_0 = \rho gh \qquad (۴ــ۲)$$

بنابراین فشارسنج هوا، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جیوه نشان می‌دهد که در سطح دریای آزاد این ارتفاع حدود 760mm است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg) بیان می‌شود[2].



اونجلیستا توریچلّی (۱۶۴۷ــ۱۶۰۸م) یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان ایتالیایی و از شاگردان گالیله بود. هرچند توریچلّی فعالیت‌هایی 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 جیوهٔ درون لوله، خلأ نسبی ایجاد کند که به خلأ توریچلّی شناخته می‌شود.

۱ــ چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است و می‌تواند جذب پوست یا مخاط تنفسی شود، انجام این کار توصیه نمی‌شود.

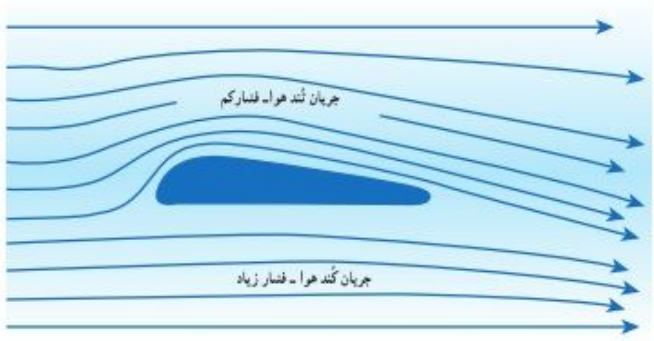
۲ــ به افتخار توریچلّی، 1mmHg را یک تور (torr) می‌نامند.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 56 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 56 — 2026-06-11 19:40:49 • diffpdf

کاربردهایی از اصل برنولی : از بررسی نیروی بالابر وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کات‌دار توپ فوتبال و افشانهٔ عطر، از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۲ــ۲۷ 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 ۲ــ۲۷ 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 ۲ــ۲۸ 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 نیرویی رو به بالا به بال هواپیما وارد می‌شود[1].



شکل ۲ــ۲۸ کاربرد اصل برنولی در بال هواپیما برای ایجاد نیروی رو به بالا.

۱ــ در واقع این نیروی رو به 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.

کاربردهایی از اصل برنولی : از بررسی نیروی بالابر وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کات‌دار توپ فوتبال و افشانهٔ عطر، از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۲ــ۲۷ 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 ۲ــ۲۷ 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 ۲ــ۲۸ 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 نیرویی رو به بالا به بال هواپیما وارد می‌شود[1].

شکل ۲ــ۲۸ کاربرد اصل برنولی در بال هواپیما برای ایجاد نیروی رو به بالا.

پرسش ۲ــ۸

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.

۱ــ در واقع این نیروی رو به 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.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 57 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 57 — 2026-06-11 19:40:50 • diffpdf

پرسش ۲ـ۸

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.

خوب است بدانید

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

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

ویژگی‌های فیزیکی مواد

خوب است بدانید

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

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

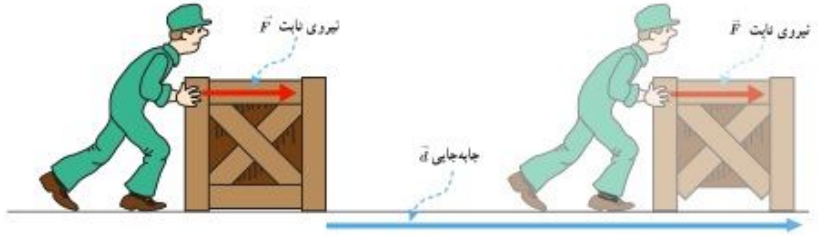
۴۷

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 66 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 66 — 2026-06-11 19:40:50 • diffpdf

در این رابطه F اندازهٔ نیروی وارد بر جسم (برحسب نیوتون) و d اندازهٔ جابه‌جایی آن (برحسب متر) است. کار، همان یکای انرژی (ژول) را دارد و کمیتی نرده‌ای است. برای استفاده از این رابطه به منظور محاسبهٔ کار باید به دو نکته توجه کرد. اول آنکه، نیروی ثابت وارد بر جسم، باید با جابه‌جایی آن هم‌جهت باشد و دوم آنکه، باید بتوان از هرگونه چرخش یا تغییر شکل جسم صرف‌نظر کرد.

مثال ۳ــ ۲

شکل زیر کارگری را در حال هُل دادن جعبه‌ای با نیروی ثابت ۲۵۰N نشان می‌دهد. اگر جعبه ۱۴m در امتداد نیرو جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟



پاسخ: اندازهٔ نیروی وارد شده به جعبه، ثابت و با جابه‌جایی جعبه هم جهت است. بنابراین، از رابطهٔ ۳ــ۲ داریم:

$$W = Fd = (۲۵۰\text{N})(۱۴\text{m}) = ۳/۵ \times ۱۰^{۳}\text{J}$$

مثال ۳ــ ۳

بیماری به جرم ۷۲kg روی تختی به جرم ۱۵kg دراز کشیده است. پرستاری این تخت را با نیروی ثابت و افقی $\vec{F}$ روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز هُل می‌دهد. مجموعهٔ تخت و بیمار با شتاب $۰/۶۰\text{m/s}^{۲}$ حرکت می‌کند.

الف) اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ چقدر است؟

ب) اگر تخت ۱۰m در جهت این نیرو جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط نیروی $\vec{F}$ را حساب کنید.

پاسخ: الف) جرم کل بیمار و تخت برابر ۸۷kg است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F = ma = (۸۷\text{kg})(۰/۶۰\text{m/s}^{۲}) = ۵۲\text{N}$$

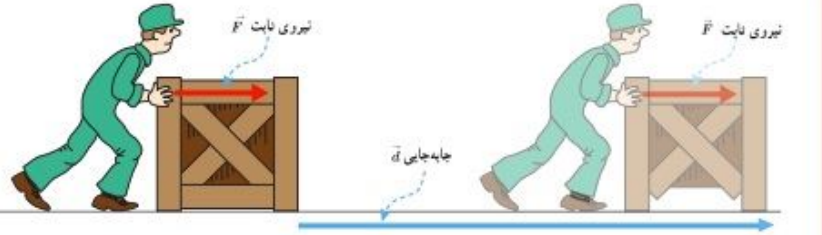
ب) چون نیرو و جابه‌جایی در یک جهت‌اند، با استفاده از رابطهٔ (۳ــ۲) کار نیروی F برابر است با:

$$W = Fd = (۵۲\text{N})(۱۰\text{m}) = ۵/۲ \times ۱۰^{۲}\text{J}$$

در این رابطه F اندازهٔ نیروی وارد بر جسم و d اندازهٔ جابه جایی آن است. کار، همان یکای انرژی را دارد و کمیتی نرده‌ای است. برای استفاده از این رابطه به منظور محاسبهٔ کار باید به دو نکته توجه کرد. اول آنکه، نیروی ثابت وارد بر جسم، باید با جابه‌جایی آن هم‌جهت باشد و دوم آنکه، باید بتوان از هرگونه چرخش یا تغییر شکل جسم صرف‌نظر کرد.

مثال ۳ــ ۲

شکل زیر کارگری را در حال هُل دادن جعبه‌ای با نیروی ثابت ۲۵۰N نشان می‌دهد. اگر جعبه ۱۴m در امتداد نیرو جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟



پاسخ: اندازهٔ نیروی وارد شده به جعبه، ثابت و با جابه‌جایی جعبه هم جهت است. بنابراین، از رابطهٔ ۳ــ۲ داریم:

$$W = Fd = (۲۵۰\text{N})(۱۴\text{m}) = ۳/۵ \times ۱۰^{۳}\text{J}$$

مثال ۳ــ ۳

بیماری به جرم ۷۲kg روی تختی به جرم ۱۵kg دراز کشیده است. پرستاری این تخت را با نیروی ثابت و افقی $\vec{F}$ روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز هُل می‌دهد. مجموعهٔ تخت و بیمار با شتاب $۰/۶۰\text{m/s}^{۲}$ حرکت می‌کند.

الف) اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ چقدر است؟

ب) اگر تخت ۱۰m در جهت این نیرو جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط نیروی $\vec{F}$ را حساب کنید.

پاسخ: الف) جرم کل بیمار و تخت برابر ۸۷kg است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F = ma = (۸۷\text{kg})(۰/۶۰\text{m/s}^{۲}) = ۵۲\text{N}$$

ب) چون نیرو و جابه‌جایی در یک جهت‌اند، با استفاده از رابطهٔ (۳ــ۲) کار نیروی F برابر است با:

$$W = Fd = (۵۲\text{N})(۱۰\text{m}) = ۵/۲ \times ۱۰^{۲}\text{J}$$

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 70 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 70 — 2026-06-11 19:40:51 • diffpdf

پاسخ :

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبهٔ کار نیروی F_1، اطلاعات داده شده و $\cos\theta = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$ را در رابطهٔ ۳ـ۳ جایگذاری می‌کنیم. به این ترتیب داریم :

$$W_1 = (F_1 \cos\theta)d = (150\,\text{N} \times \sqrt{3}/2)(10/0\,\text{m}) = 1/30 \times 10^3\,\text{J}$$

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

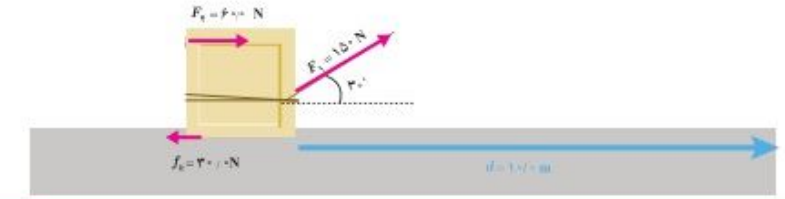
$$W_2 = F_2 d = (60/0\,\text{N})(10/0\,\text{m}) = 600\,\text{J}$$

برای محاسبهٔ کار نیروی f_k، اطلاعات داده شده و $\cos\theta = \cos 180^\circ = -1$ را در رابطهٔ ۳ـ۳ جایگذاری می‌کنیم. پس :

$$W_3 = (f_k \cos\theta)d = (30/0\,\text{N} \times (-1))(10/0\,\text{m}) = -300\,\text{J}$$

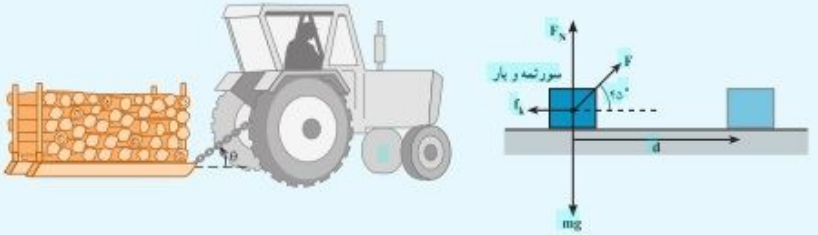
همان‌طور که گفتیم کار کل (W_t) انجام شده با جمع جبری مقدار کار انجام شده توسط تک تک نیروها برابر است. توجه کنید که کار نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه صفر است. به این ترتیب داریم :

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



تمرین ۳ـ۵

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از قطعه‌های چوبی برش داده شده برای کارخانه را روی سطح افقی و در مسیر مستقیم به اندازهٔ ۲۰۰m جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن ۱۵۰۰۰N است. تراکتور نیروی ثابت $F = 5500\,\text{N}$ را در زاویهٔ $\theta = 45^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = 3500\,\text{N}$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید.



پاسخ :

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبهٔ کار نیروی F_1، اطلاعات داده شده و $\cos\theta = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$ را در رابطهٔ ۳ـ۳ جایگذاری می‌کنیم. به این ترتیب داریم :

$$W_1 = (F_1 \cos\theta)d = (150\,\text{N} \times \sqrt{3}/2)(10/0\,\text{m}) = 1/30 \times 10^3\,\text{J}$$

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

$$W_2 = F_2 d = (60/0\,\text{N})(10/0\,\text{m}) = 600\,\text{J}$$

برای محاسبهٔ کار نیروی f_k، اطلاعات داده شده و $\cos\theta = \cos 180^\circ = -1$ را در رابطهٔ ۳ـ۳ جایگذاری می‌کنیم. پس :

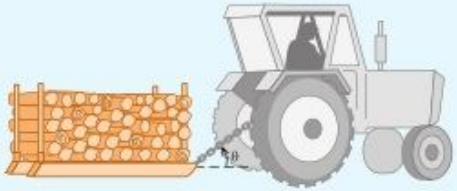
$$W_3 = (f_k \cos\theta)d = (30/0\,\text{N} \times (-1))(10/0\,\text{m}) = -300\,\text{J}$$

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

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

تمرین ۳ـ۵

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از قطعه‌های چوبی برش داده شده برای کارخانه را روی سطح افقی و در مسیر مستقیم به اندازهٔ ۲۰۰m جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن ۱۵۰۰۰N است. تراکتور نیروی ثابت $F = 5500\,\text{N}$ را در زاویهٔ $\theta = 45^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = 3500\,\text{N}$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید.



...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 73 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 73 — 2026-06-11 19:40:51 • diffpdf

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

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = -۵/۸۷ \times ۱۰^۵\text{J} \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} + ۵/۸۸ \times ۱۰^۵\text{J} = ۸۱۰\text{J}$$

توجه کنید برای اینکه جرثقیل 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 ۳ـ۶

شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت ۱۵۰N، جعبه‌ای به جرم ۱۰kg را از حال سکون در امتداد قائم جابه‌جا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m به‌طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m چقدر است؟

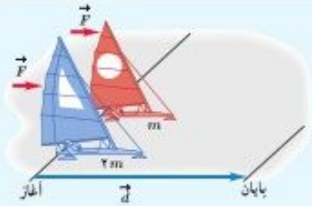
پ) با استفاده از قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع ۱/۵m حساب کنید.

تمرین ۳ـ۷

جرم یک خودروی الکتریکی (جرم خودرو و راننده‌اش) ۸۴۰kg است. وقتی این خودرو از موقعیت A به‌موقعیت B می‌رود، کار کُل انجام شده روی خودرو ۷۳۵۰۰J است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر ۵۴/۰km/h باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

تمرین ۳ـ۸

دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخ‌زده[1]، دارای جرم‌های m و $۲m$، روی دریاچهٔ افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان $\vec{F}$ با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هردو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و پس از جابه‌جایی $\vec{d}$، از خط پایان می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.



۱- iceboat

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

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = -۵/۸۷ \times ۱۰^۵\text{J} \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} + ۵/۸۸ \times ۱۰^۵\text{J} = ۸۱۰\text{J}$$

توجه کنید برای اینکه جرثقیل 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 ۳ـ۶

شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت ۱۵۰N، جعبه‌ای به جرم ۱۰kg را از حال سکون در امتداد قائم جابه‌جا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m به‌طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m چقدر است؟

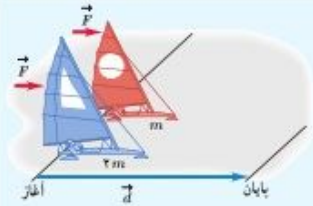
پ) با استفاده از قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع ۱/۵m حساب کنید.

تمرین ۳ـ۷

جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش ۸۴۰kg است. وقتی این خودرو از موقعیت A به‌موقعیت B می‌رود، کار کُل انجام شده روی خودرو ۷۳۵۰۰J است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر ۵۴/۰km/h باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

تمرین ۳ـ۸

دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخ‌زده[1]، دارای جرم‌های m و $۲m$، روی دریاچهٔ افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان $\vec{F}$ با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هردو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و پس از جابه‌جایی $\vec{d}$، از خط پایان می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.



۱- iceboat

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 78 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 78 — 2026-06-11 19:40:52 • diffpdf

تمرین ۳ ــ ۱۱

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

تمرین ۳ ــ ۱۲

جرم موتور سواری با موتورش $150\,kg$ است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.

الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتور سوار به همراه موتورش را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = 9/8\,m/s^2$).

ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جابه‌جایی به دست آورید.

۳ــ۵ پایستگی انرژی مکانیکی

کریستیان هویگنس (۱۶۹۵ــ۱۶۲۹ م)، 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 ادامهٔ 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 سیارهٔ زحل را مشاهده و گزارش کرد.

شکل ۳ــ۷ جسمی‌را 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 رابطهٔ ۳ــ۶، کار نیروی وزن هنگام جابه‌جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با :

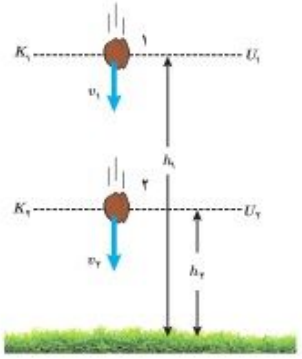
$$W_{وزن} = -(U_2 - U_1)$$

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 قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی (رابطهٔ ۳ــ۴) داریم :

$$W_t = W_{وزن} = K_2 - K_1$$

از مقایسهٔ دو رابطهٔ اخیر می‌توان نوشت :

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



شکل ۳ــ۷ با نزدیک‌تر شدن جسم به زمین، انرژی پتانسیل گرانشی کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد.

تمرین ۳ ــ ۱۱

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

تمرین ۳ ــ ۱۲

جرم موتور سواری با موتورش $150\,kg$ است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.

الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتور سوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = 9/8\,m/s^2$).

ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جابه‌جایی به دست آورید.

۳ــ۵ پایستگی انرژی مکانیکی

کریستیان هویگنس (۱۶۹۵ــ۱۶۲۹ م)، 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 ادامهٔ 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 سیارهٔ زحل را مشاهده و گزارش کرد.

شکل ۳ــ۷ جسمی‌را 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 رابطهٔ ۳ــ۶، کار نیروی وزن هنگام جابه‌جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با :

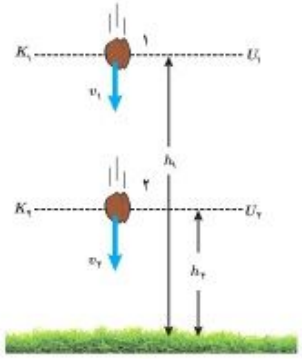
$$W_{وزن} = -(U_2 - U_1)$$

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 قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی (رابطهٔ ۳ــ۴) داریم :

$$W_t = W_{وزن} = K_2 - K_1$$

از مقایسهٔ دو رابطهٔ اخیر می‌توان نوشت :

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



شکل ۳ــ۷ با نزدیک‌تر شدن جسم به زمین، انرژی پتانسیل گرانشی کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 81 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 81 — 2026-06-11 19:40:53 • diffpdf

۳ـ۶ کار و انرژی درونی

شکل ۳ـ۸ 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 طوری‌که چرخ‌های خودرو قفل می‌شوند و روی آسفالت جاده کشیده و ساییده می‌شوند و خط ترمز به‌وجود می‌آید (شکل ۳ـ۸). 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 تشکیل‌دهندهٔ 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. به‌طوری‌که هرچه تعداد ذرات سازندهٔ یک جسم و انرژی هر ذرهٔ آن بیشتر باشد، انرژی درونی آن نیز بیشتر است. چون در حین ترمز گرفتن خودرو، لاستیک‌های آن و سطح جاده گرم‌تر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی درونی هر دو افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که در اثر کار نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌های آن و سطح جاده تبدیل شده است.

در این‌گونه موارد، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است. در واقع، همان‌طورکه 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.

پرسش ۳ـ۴

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

شکل ۳ـ۹جسمی را نشان می‌دهد که پس از طی مسیری انرژی مکانیکی آن از E_1 به E_2 تغییر کرده است. اگر در طول مسیر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، به جسم وارد شوند و روی جسم کار منفی انجام دهند، بخشی از انرژی مکانیکی جسم را به انرژی درونی جسم، سطح مسیر و هوا تبدیل می‌کنند. اگر کار انجام شده توسط این نیروها که معمولاً به نیروهای اتلافی نیز شناخته می‌شوند را با W_f نمایش دهیم در این صورت $W_f = E_2 - E_1$ است[۱].

۱ ــ در حالت کلی، به جز نیروهایی مانند نیروی گرانشی‌که 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 جملهٔ دیگری در این رابطه می‌انجامد. معمولاً از حرف کوچک f برای نشان دادن نیروهای اتلافی مانند اصطکاک و مقاومت هوا استفاده می‌شود.

۳ـ۶ کار و انرژی درونی

شکل ۳ـ۸ 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 طوری‌که چرخ‌های خودرو قفل می‌شوند و روی آسفالت جاده کشیده و ساییده می‌شوند و خط ترمز به‌وجود می‌آید (شکل ۳ـ۸). 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 تشکیل‌دهندهٔ 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. به‌طوری‌که هرچه تعداد ذرات سازندهٔ یک جسم و انرژی هر ذرهٔ آن بیشتر باشد، انرژی درونی آن نیز بیشتر است. چون در حین ترمز گرفتن خودرو، لاستیک‌های آن و سطح جاده گرم‌تر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی درونی هر دو افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که در اثر کار نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌های آن و سطح جاده تبدیل شده است.

در این‌گونه موارد، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است. در واقع، همان‌طورکه 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.

پرسش ۳ـ۴

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

شکل ۳ـ۹جسمی را نشان می‌دهد که پس از طی مسیری انرژی مکانیکی آن از E_1 به E_2 تغییر کرده است. اگر در طول مسیر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، به جسم وارد شوند و روی جسم کار منفی انجام دهند، بخشی از انرژی مکانیکی جسم را به انرژی درونی جسم، سطح مسیر و هوا تبدیل می‌کنند. اگر کار انجام شده توسط این نیروها که معمولاً به نیروهای اتلافی نیز شناخته می‌شوند را با W_f نمایش دهیم در این صورت $W_f = E_2 - E_1$ است[۱].

۱ ــ در حالت کلی، به جز نیروهایی مانند نیروی گرانشی‌که 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 جملهٔ دیگری در این رابطه می‌انجامد. معمولاً از حرف کوچک f برای نشان دادن نیروهای اتلافی مانند اصطکاک و مقاومت هوا استفاده می‌شود.

...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 84 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 84 — 2026-06-11 19:40:54 • diffpdf

پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۳ـ۴، کار کل انجام شده توسط موتور خودرو، برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به‌این ترتیب، با به‌دست آوردن انرژی جنبشی خودرو در دو وضعیت داده شده و محاسبهٔ کار کل موتور خودرو داریم :

$$W_t = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$= \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}(1300\,\text{kg})[(18/0\,\text{m/s})^2 - (13/0\,\text{m/s})^2] = 100750 \approx 1/01\times10^5\,\text{J}$$

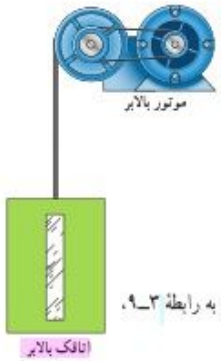
با جایگذاری مقدار به دست آمده در رابطهٔ ۳ـ۹، کمترین توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار برابر است با :

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{100750\,\text{J}}{3/0\,\text{s}} \approx 3/4\times10^4\,\text{W} = 45\,\text{hp}$$

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

مثال ۳ـ۱۵

جرم اتاقک بالابری به همراه بار آن 500kg است (شکل روبه‌رو). اگر این بالابر در مدت 10s از طبقهٔ همکف به طبقهٔ دوم در ارتفاع 6/0m برود، توان متوسط موتور این بالابر چند اسب بخار است؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.



پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۳ـ۴، 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 :

$$W_{وزن} + W_{موتور} = K_2 - K_1$$

$$-mg(h_2 - h_1) + W_{موتور} = 0 - 0$$

$$W_{موتور} = mg(h_2 - h_1) = (500\,\text{kg})(9/8\,\text{m/s}^2)(6/0\,\text{m} - 0) = 29400\,\text{J} \approx 2/9\times10^4\,\text{J}$$

در محاسبهٔ بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین (طبقهٔ همکف) گرفته‌ایم. با توجه به رابطهٔ ۳ـ۹، توان متوسط موتور بالابر برابر است با :

$$P_{av} = \frac{W_{موتور}}{\Delta t} = \frac{29400\,\text{J}}{10\,\text{s}} \approx 2/9\times10^3\,\text{W} = 3/9\,\text{hp}$$

تمرین ۳ ـ ۱۶

هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری، پیشرانه‌ای (نیروی جلوبر هواپیما) برابر $2/0\times10^5\,\text{N}$ ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه 15km در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۳ـ۴، کار کل انجام شده توسط موتور خودرو، برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به‌این ترتیب، با به‌دست آوردن انرژی جنبشی خودرو در دو وضعیت داده شده و محاسبهٔ کار کل موتور خودرو داریم :

$$W_t = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$= \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}(1300\,\text{kg})[(18/0\,\text{m/s})^2 - (13/0\,\text{m/s})^2] = 100750 \approx 1/01\times10^5\,\text{J}$$

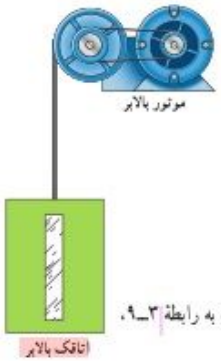
با جایگذاری مقدار به دست آمده در رابطهٔ ۳ـ۹، کمترین توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار برابر است با :

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{100750\,\text{J}}{3/0\,\text{s}} \approx 3/4\times10^4\,\text{W} = 45\,\text{hp}$$

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

مثال ۳ـ۱۵

جرم اتاقک بالابری به همراه بار آن 500kg است (شکل روبه‌رو). اگر این بالابر در مدت 10s از طبقهٔ همکف به طبقهٔ دوم در ارتفاع 6/0m برود، توان متوسط موتور این بالابر چند اسب بخار است؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.



پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۳ـ۴، 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 :

$$W_{وزن} + W_{موتور} = K_2 - K_1$$

$$-mg(h_2 - h_1) + W_{موتور} = 0 - 0$$

$$W_{موتور} = mg(h_2 - h_1) = (500\,\text{kg})(9/8\,\text{m/s}^2)(6/0\,\text{m} - 0) = 29400\,\text{J} \approx 2/9\times10^4\,\text{J}$$

در محاسبهٔ بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین (طبقهٔ همکف) گرفته‌ایم. با توجه به رابطهٔ ۳ـ۹، توان متوسط موتور بالابر برابر است با :

$$P_{av} = \frac{W_{موتور}}{\Delta t} = \frac{29400\,\text{J}}{10\,\text{s}} \approx 2/9\times10^3\,\text{W} = 3/9\,\text{hp}$$

تمرین ۳ ـ ۱۶

هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری، پیشرانه‌ای (نیروی جلوبر هواپیما) برابر $2/0\times10^5\,\text{N}$ ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه 15km در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

diffpdf • 88 — 2026-06-11 19:40:54 • ft10_1404.pdf\تخصصی تجربی\10تجربی\Desktop\OneDrive\...an
≠ 88 • ft10_1403.pdf\تخصصی تجربی\10تجربی\Desktop\OneDrive\...an

۳ـ۱ انرژی جنبشی

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جوّ زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهندهٔ جوّ، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم $۱/۴ \times ۱۰^{۵}\,kg$ را نشان می‌دهد که با تندی $۴۰\,km/s$ وارد جوّ زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم $۷/۲ \times ۱۰^{۴}\,kg$ که با تندی $۲۵۰\,m/s$ در حرکت است مقایسه کنید.

۲ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی 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 $۱/۴۰ \times ۱۰^{۸}\,kg$ بوده و با تندی $۱۲/۰\,km/s$ به زمین برخورد کرده است.

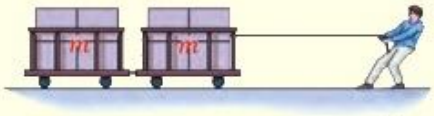
انرژی جنبشی این شهاب سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟

(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تُن TNT تقریباً برابر $۴/۲ \times ۱۰^{۹}\,J$ است.)

۳ـ۲ و ۳ـ۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت و کار و انرژی جنبشی

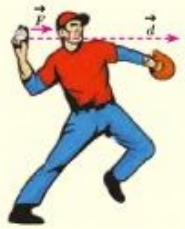
۳ در شکل‌های (الف) و (ب) جرم ارابه‌ها یکسان است. برای اینکه تندی ارابه‌ها از صفر به مقدار معین v برسد، کار انجام شده در هر دو حالت را باهم مقایسه کنید.

(الف)



(ب)

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ پیسبالی به جرم $۱۵۰\,g$ را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = ۷۵/۰\,N$ تا لحظهٔ پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی $(d = ۱/۵m)$ 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 $۳v$ برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

۳ـ۱ انرژی جنبشی

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جوّ زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهندهٔ جوّ، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم $۱/۴ \times ۱۰^{۵}\,kg$ را نشان می‌دهد که با تندی $۴۰\,km/s$ وارد جوّ زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم $۷/۲ \times ۱۰^{۴}\,kg$ که با تندی $۲۵۰\,m/s$ در حرکت است مقایسه کنید.

۲ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی 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 $۱/۴۰ \times ۱۰^{۸}\,kg$ بوده و با تندی $۱۲/۰\,km/s$ به زمین برخورد کرده است.

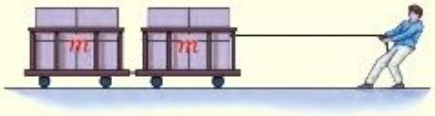
انرژی جنبشی این شهاب سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟

(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تُن TNT تقریباً برابر $۴/۲ \times ۱۰^{۹}\,J$ است.)

۳ـ۲ و ۳ـ۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت و کار و انرژی جنبشی

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

(الف)



(ب)

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ پیسبالی به جرم $۱۵۰\,g$ را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = ۷۵/۰\,N$ تا لحظهٔ پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی $(d = ۱/۵m)$ 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 $۳v$ برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

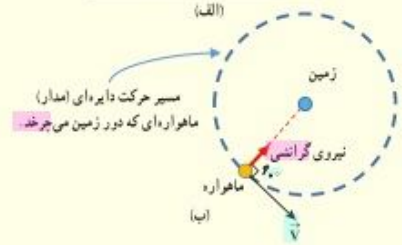
...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1403.pdf • 89 ≠ ...an\OneDrive\Desktop\10تجربی\تخصصی تجربی\ft10_1404.pdf • 89 — 2026-06-11 19:40:55 • diffpdf

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 ۱۵۰g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع ۱۸۰cm از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی ۱۲m/s پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلولهٔ 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 گرانشی همواره بر ماهواره وارد می‌شود که جهت آن رو به مرکز زمین است. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟

(الف)



۳ـ۴ کار و انرژی پتانسیل

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

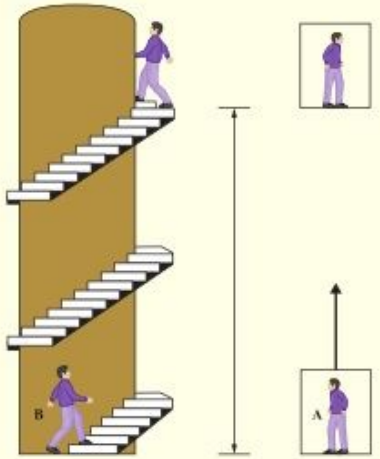
۱۱ دو شخص هم جرم A و B به طبقهٔ سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسان‌تر (آسانسور) و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

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 طبقهٔ 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 طبقهٔ سوم ساختمان یکسان است.

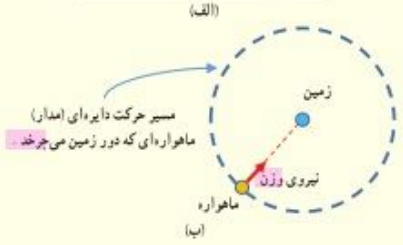


۷ اگر مطابق شکل زیر سطلی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چطور؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید. از مقاومت هوا در مقابل حرکت سطل، چشم‌پوشی کنید.

۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم ۱۵۰g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع ۱۸۰cm از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی ۱۲m/s پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلولهٔ 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)



۳ـ۴ کار و انرژی پتانسیل

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

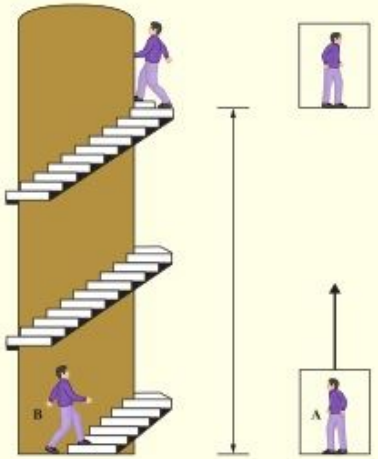
۱۱ دو شخص هم جرم A و B به طبقهٔ سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسان‌تر (آسانسور) و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

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 طبقهٔ 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 طبقهٔ سوم ساختمان یکسان است.



...n\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1404.pdf • 109 — 2026-06-11 19:40:56 • diffpdf
...n\OneDrive\Desktop\تخصصی تجربی\10تجربی\ft10_1403.pdf • 109

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 ۴ــ۱۸). بدین منظور، در محفظهٔ سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب درنظر گرفته شده است که به وسیلهٔ تلمبهٔ 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.

شکل ۴ــ۱۸ تصویری از سیستم خنک‌کنندهٔ خودرو

پرسش ۴ــ۳

گوی‌ها در حال فرو رفتن در پارافین

چند گوی فلزی هم‌اندازه 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 درحال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقهٔ ضخیم پارافین قرار می‌دهیم. به‌نظر شما کدام گوی، بیشتر در پارافین فرو می‌رود و علت آن چیست؟

دمای تعادل : اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرارگیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند، یعنی دمای آنها به مقدار یکسانی می‌رسد. به این دما، دمای تعادل می‌گویند که می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی، آن را محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرما از دست می‌دهند و بقیهٔ 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 رابطهٔ (۴ــ۷) نیز درمی‌یابیم که با افزایش دما، مقدار مثبتی برای Q به‌دست می‌آید و با کاهش دما، مقداری منفی برای Q به‌دست می‌آید. بنا به قانون پایستگی انرژی، همان‌قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام سرد انرژی می‌گیرند، پس جمع جبری این Qها صفر می‌شود :

$$Q_1+Q_2+Q_3+\ldots=0 \qquad (۸ــ۴)$$

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 ۴ــ۱۸). بدین منظور، در محفظهٔ سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب درنظر گرفته شده است که به وسیلهٔ تلمبهٔ 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.

شکل ۴ــ۱۸ تصویری از سیستم خنک‌کنندهٔ خودرو

پرسش ۴ــ۳

گوی‌ها پسته به جنس خود، ورقهٔ 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 درحال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقهٔ پارافین قرار می‌دهیم. به‌نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیک‌دان ایرلندی، جان تیندال[۱] (۱۸۹۳ــ۱۸۲۰م.) طراحی و اجرا کرد.

دمای تعادل : اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرارگیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند، یعنی دمای آنها به مقدار یکسانی می‌رسد. به این دما، دمای تعادل می‌گویند که می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی، آن را محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرما از دست می‌دهند و بقیهٔ 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 رابطهٔ (۴ــ۷) نیز درمی‌یابیم که با افزایش دما، مقدار مثبتی برای Q به‌دست می‌آید و با کاهش دما، مقداری منفی برای Q به‌دست می‌آید. بنا به قانون پایستگی انرژی، همان‌قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام سرد انرژی می‌گیرند، پس جمع جبری این Qها صفر می‌شود :

$$Q_1+Q_2+Q_3+\ldots=0 \qquad (۸ــ۴)$$

۱ــ John Tyndall