

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فیزیک (۲) و آزمایشگاه

سال دوم آموزش متوسطه

رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک





هر کاری را که انسان باورش این است که نسبت به آن کار ضعیف است، نمی‌تواند آن کار را انجام بدهد. . . . هر کشوری که اعتقادش این باشد که نمی‌تواند خودش صنعتی را ایجاد کند این ملت محکوم به این است که تا آخر نتواند، و این اساس نقشه‌هایی بوده است که برای ملل ضعیف دنیا قدرت‌های بزرگ کشیده‌اند.

امام خمینی

## فهرست

۲	فصل اوّل — فیزیک و اندازه‌گیری
۲	۱-۱- تاریخچهٔ پیدایش و گسترش فیزیک
۴	۱-۲- ارکان علم فیزیک
۵	۱-۳- کاربردهای فیزیک
۶	۱-۴- اندازه‌گیری
۱۸	۱-۵- کمیت‌های فیزیکی
۲۹	تمرین‌های فصل اوّل
۳۲	فصل دوم — حرکت‌شناسی
۳۴	۲-۱- بردار مکان و بردار جابه‌جایی
۳۷	۲-۲- حرکت بر روی خط راست
۳۸	۲-۳- نمودار مکان — زمان
۴۲	۲-۴- سرعت متوسط
۴۵	۲-۵- سرعت لحظه‌ای
۴۸	۲-۶- حرکت یکنواخت بر خط راست
۵۰	۲-۷- نمودار سرعت — زمان
۵۲	۲-۸- شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای
۵۶	۲-۹- حرکت بر خط راست با شتاب ثابت
۵۸	۲-۱۰- معادلهٔ مکان — زمان در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست
۶۲	تمرین‌های فصل دوم
۶۵	فصل سوم — دینامیک
۶۶	۳-۱- نیرو
۷۱	۳-۲- قانون‌های حرکت
۷۷	۳-۳- معرفی نیروها
۸۷	۳-۴- استفاده از قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت
۹۱	تمرین‌های فصل سوم
۹۵	فصل چهارم — کار و انرژی
۹۵	۴-۱- کار

۱۰۱	۲-۴- قضیه کار و انرژی
۱۰۵	۳-۴- انرژی پتانسیل
۱۰۸	۴-۴- پایستگی انرژی مکانیکی
۱۱۱	۵-۴- توان
۱۱۴	تمرین‌های فصل چهارم
۱۱۷	<b>فصل پنجم - ویژگی‌های ماده</b>
۱۱۸	۱-۵- حالت‌های مختلف ماده
۱۲۰	۲-۵- چگالی
۱۲۳	۳-۵- نیروهای چسبندگی
۱۲۴	۴-۵- کشش سطحی
۱۲۵	۵-۵- نیروهای چسبندگی سطحی
۱۲۶	۶-۵- موینگی
۱۲۸	۷-۵- فشار
۱۳۰	۸-۵- محاسبه فشار در مایع‌ها
۱۳۱	۹-۵- فشار هوا
۱۳۴	۱۰-۵- محاسبه فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا
۱۳۷	۱۱-۵- فشار در گازها
۱۴۰	تمرین‌های فصل پنجم
۱۴۳	<b>فصل ششم - گرما و قانون گازها</b>
۱۴۳	۱-۶- دما، انرژی درونی و گرما
۱۵۷	۲-۶- حالت‌های ماده
۱۶۵	۳-۶- اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم‌ها
۱۷۲	۴-۶- انتقال گرما
۱۷۷	۵-۶- قانون گازها
۱۸۰	تمرین‌های فصل ششم
۱۸۳	واژه‌نامه
۱۸۵	فهرست منابع

## سخنی با دانش‌آموزان و همکاران محترم

در قرن بیست و یکم رشد سریع علوم با سرعت بیشتری انجام خواهد شد و حجم اطلاعات علمی بشر طبق تخمین دانشمندان در چند سال آینده در هر چند ماه دو برابر می‌گردد. شیوه‌های زندگی نیز به دنبال این تحولات در علم و تکنولوژی خیلی سریع تغییر می‌کنند. بنابراین نیازهای فردای دانش‌آموزان امروز برای ما خیلی آشکار نیست. به دنبال این تحولات شیوه‌های آموزش علوم (فیزیک) به تبع نیازهای مجهول آینده فرزندانمان تغییر چشمگیری در جهان داشته است. در این شیوه‌ها تلاش زیادی می‌شود تا دانش‌آموز «چگونگی آموختن» را بیاموزد و مهارت برخورد با مطلب یا مسئله جدید و طی مراحلی که منجر به حل آن مسئله می‌شود را فرا گیرد.

کتاب فیزیک (۲) و آزمایشگاه براساس روش فعال تألیف شده است. یعنی دانش‌آموز در تولید مفاهیم نقش دارد و نقش دبیران محترم، ایجاد مسئله و سپس راهنمایی دانش‌آموزان برای رسیدن به حل مسئله است. در این کتاب سعی شده سه هدف نگرشی، دانشی و مهارتی مورد توجه کامل قرار گیرد و حجم و تعداد مفاهیم با توجه به اختصاصی بودن درس برای دانش‌آموزان رشته علوم ریاضی و تجربی انتخاب شده است.

انتظار می‌رود همکاران گرامی با تکیه بر تجربه و توانایی‌های خود، فعالیت یا آزمایشی را که در یادگیری می‌تواند کمک کند طراحی کرده و دانش‌آموزان را بر انجام آن‌ها ترغیب کنند و از آنان بخواهند که نتایج آن فعالیت‌ها را در دفتر گزارش کار خود ثبت کنند. این دفتر و عملکرد دانش‌آموزان در حین انجام فعالیت می‌تواند به عنوان یکی از ملاک‌های ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد. لازم به تذکر است که عناوین و مباحث این کتاب براساس سن دانش‌آموزان و زمان تخصیص داده به این درس تدارک دیده شده است و همکاران محترم بایستی از پیرایه‌های اضافی به این مباحث، که به طور مبسوط‌تر در سال‌های آتی ارائه خواهند شد، بپرهیزند.

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی همواره از دریافت نظرهای ارزشمند دبیران محترم، صاحب‌نظران و دانش‌آموزان جهت رفع نارسایی‌ها و لغزش‌های احتمالی به‌گرمی استقبال می‌کند. نظرهای اصلاحی خود را به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه فیزیک و یا نشانی الکترونیک [physics-dept@talif.sch.ir](mailto:physics-dept@talif.sch.ir) ارسال نمایید.

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

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



بنایی در طوس — خراسان رضوی

یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری اندازه‌گیری است. هنرمندان معمار ایرانی از صدها سال پیش با نگاه دقیق به مبانی اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری را در طول تاریخ تمدن اسلامی ایران بنا کرده‌اند.

## فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک چیست؟ فیزیکدانان در چه زمینه‌هایی کار می‌کنند؟ روش کار فیزیکدانان چیست؟ در این فصل، برای پاسخ دادن به چنین پرسش‌هایی نخست به تشریح موضوع علم فیزیک می‌پردازیم. برای این کار با بیان یک تاریخچه مختصر به معرفی روش علمی‌ای که در فیزیک مطرح است، می‌پردازیم. سپس زمینه‌هایی را که فیزیک در آن‌ها کاربرد دارد و شاخه‌های مختلف علم فیزیک را برمی‌شماریم.

با توجه به اهمیت که اندازه‌گیری در فیزیک دارد، قسمت بیشتری از این فصل به اندازه‌گیری و نکته‌های مربوط به آن اختصاص دارد.

سرانجام در قسمت پایانی کمیت‌های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می‌کنیم. آن‌گاه کمیت‌های نرده‌ای و برداری و عملیات جبری آن‌ها را تا حد نیاز شرح خواهیم داد.

### ۱-۱- تاریخچه پیدایش و گسترش فیزیک

واژه فیزیک برگرفته از واژه باستانی یونانی *Physis* به معنای طبیعت و ماهیت است. تا آن‌جا که تاریخ بدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان آسیای صغیر (در سده هفتم قبل از میلاد مسیح) نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی درباره طبیعت و ماهیت بنیادی (*Physis*) دنیای مادی مطرح ساختند. استدلال‌هایی که این فیلسوفان در توجیه باورهای علمی خود ارائه می‌کردند، منطبق بر شیوه استدلال علمی در عصر حاضر نبود. با این وجود، این استدلال‌ها از تصورات خرافی مردم آن زمان کاملاً دور بود.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در کشورهای



تحت نفوذ فرهنگ یونان (مقدونیه، سوریه و مصر) به‌ویژه در شهر اسکندریه پی‌گیری شد. کارهای ارشمیدس (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) دربارهٔ مبحث‌های ایستائشناسی (استاتیک) و هیدروستاتیک به‌همین دوره مربوط می‌شود. رهیافت ارشمیدس برخلاف پیشینیان وی به روش‌های علمی امروزه خیلی نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی از قبیل ابوریحان بیرونی، ابن‌هیثم، خواجه نصیرالدین طوسی و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم و اپتیک، علم فیزیک را گسترش دادند که بعداً بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد. گالیله توانست با «اندازه‌گیری‌های تجربی» و «تجزیه و تحلیل ریاضی» روش جدیدی را برای بررسی دستگاه‌های ساده ارائه دهد. او حرکت اجسام روی سطح شیبدار را بررسی کرد و مشخصه‌های اصلی حرکت‌ها را معرفی کرد. این مشخصه‌ها کمیت‌هایی قابل اندازه‌گیری مثل جرم جسم یا زمان لازم برای طی یک مسافت معین بود. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌گیری‌ها بیابد و نتیجه را به‌صورت ریاضی بیان کند. با کارهای گالیله روشن شد که نتایج یک بررسی شامل چند اندازه‌گیری را اغلب می‌توان در یک جملهٔ بسیار ساده خلاصه کرد. جملهٔ سادهٔ زیر مثالی از این گونه جمله‌هاست که شما در فصل‌های بعد این کتاب به‌درستی آن پی خواهید برد.

«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی، مجبور به تغییر آن حالت شود.»

گالیله نشان داد که قانون‌های طبیعت از معادله‌های ریاضی معمولاً ساده‌ای پیروی می‌کنند. از آن زمان تاکنون فیزیکدانان در جستجوی روابط ریاضی‌ای هستند که نتایج اندازه‌گیری‌ها را به‌هم مربوط می‌کنند. امروزه این اندازه‌گیری‌ها با دقت‌های بسیار بالا و در بُدهای بسیار ریز (پلیمرها، ملکول‌ها، اتم‌ها و...) تا بُدهای بسیار بزرگ (زمین، سیاره‌های دیگر، کهکشان‌ها و...) انجام می‌شود.

مفهوم‌های اساسی در فیزیک برحسب اندازه‌گیری‌ها بیان می‌شوند و هدف هر نظریهٔ فیزیکی بیان ارتباط نتیجهٔ چند اندازه‌گیری به یک دیگر است. هرچقدر هم که یک نظریه به صورت انتزاعی و مجرد بیان شده باشد، باز هم به پیشگویی‌هایی منجر می‌شود که تنها توسط اندازه‌گیری قابل ارزیابی است.

## ۱-۲- ارکان علم فیزیک

اینک پس از این مرور کوتاه تاریخی، می‌توانیم ارکان علم فیزیک را معرفی و توصیف کنیم. هدفی که فیزیک دنبال می‌کند، همانند دوران یونان باستان، یافتن ماهیت و طبیعت بنیادی دنیای پیرامون است.

روش فیزیک، روش گاليله است که بعداً توسط نیوتون تکمیل شد. یعنی موضوع مورد نظر توسط تجربه (انجام آزمایش) و تجزیه و تحلیل ریاضی بررسی می‌شود.

موضوع یا دستگاه مورد بررسی در فیزیک می‌تواند بسیار ساده و ابتدایی و یا بسیار پیچیده و ژرف باشد. گاليله جسمی را روی سطح شیب‌دار رها می‌کند. ژول یک چرخ پروانه‌دار را در آب می‌چرخاند. رادرفورد عناصر پرتوزای کمیاب را مورد آزمایش قرار می‌دهد و ...

در فیزیک وقتی صحبت از تجربه می‌شود، منظور جمع‌آوری اطلاعاتی از رویداد یا موضوع مورد بررسی است. برای این کار معمولاً یک رشته اندازه‌گیری انجام می‌دهند. با این اندازه‌گیری‌ها، ویژگی‌های مختلف دستگاه مورد نظر مشخص می‌شود. مجموعه‌ای از فعالیت‌های تجربی را معمولاً «مشاهده» می‌نامیم. مثلاً وقتی می‌گوییم که مشاهده می‌شود حجم یک جسم با افزایش دما زیاد می‌شود، منظور ما آن است که اندازه‌گیری‌های متعدد در دماهای مختلف و برای جسم‌های مختلف انجام شده و در هر یک از آن‌ها حجم جسم مورد آزمایش و دمای آن اندازه‌گیری شده و این نتیجه به دست آمده است. به دلیل اهمیتی که مهارت مشاهده و اندازه‌گیری در فیزیک دارد، در بخش جداگانه‌ای به جزئیات آن می‌پردازیم.

نتیجه مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌ها، شالوده کار در مرحله تجزیه و تحلیل ریاضی را فراهم می‌سازد. فیزیکدانانی که بیش‌تر در زمینه طرح‌ریزی و انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات از طریق اندازه‌گیری پژوهش می‌کنند، فیزیکدانان تجربی نامیده می‌شوند.

اینک بیایید ببینیم یک فیزیکدان در مرحله تجزیه و تحلیل چه می‌کند؟ آن‌ها با بررسی دقیق یافته‌های تجربی (یا مشاهده‌ها) که از اندازه‌گیری‌ها به دست آمده‌اند، سعی می‌کنند رابطه بین آن‌ها را بیابند. برای این کار، آن‌ها نه تنها نیاز دارند که رابطه‌های موجود را که در مورد‌های مشابه به دست آمده‌اند به خوبی بدانند بلکه باید خلاقیت و توان تصور خوبی هم داشته باشند. زیرا رابطه‌ای که یک فیزیکدان بیان می‌کند، معمولاً براساس مدلی است که در ذهن خود از واقعیت ساخته است. اگر این مدل به خوبی بر واقعیت منطبق باشد، نه تنها به رابطه صحیحی بین نتیجه‌های تجربی منجر می‌شود بلکه فیزیکدان می‌تواند براساس آن، رابطه‌های دیگری را نیز پیش‌بینی کند.

مجموعه‌ای از مدل‌ها و رابطه‌هایی که از طریق تجربه‌ها به دست می‌آیند، یک نظریه (یا تئوری) را می‌سازند. فیزیکدانانی را که با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی (مشاهده‌ها)، نظریه می‌سازند، فیزیکدانان نظری یا نظریه پرداز می‌نامند.

از زمان گالیله تاکنون که این شیوه علمی رایج بوده است، نظریه‌های فراوانی مطرح شده‌اند ولی همه این نظریه‌ها مورد قبول واقع نشده‌اند.

شما فکر می‌کنید یک نظریه فیزیکی باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا مورد تأیید همگان باشد؟ احتمالاً پاسخ می‌دهید که باید با همه یافته‌های تجربی و نظریه‌های معتبر قبلی سازگار باشد. این‌ها همه درست است ولی آزمون دیگری هم هست که در طول زمان هر نظریه علمی را محک می‌زند. این آزمون به شرح زیر است:

دانشمندان به کمک مدل‌های ریاضی، که در نظریه مطرح شده است، پیش‌بینی‌هایی می‌کنند. سپس براساس این پیش‌بینی‌ها، طرح آزمایش‌های جدیدی را می‌ریزند و سعی می‌کنند شرایط مناسب برای انجام آن آزمایش‌ها را فراهم کنند. اگر نتایج این آزمایش‌ها با پیش‌بینی‌های نظریه مورد نظر سازگار نبود، نظریه رد می‌شود؛ در غیر این صورت نظریه تأیید و احتمالاً تکمیل می‌شود.

دانشمندان اغلب هنگامی یک نظریه جدید را به جای نظریه قدیمی تر می‌پذیرند که یا پیش‌بینی‌هایی که براساس آن صورت می‌گیرد، از نظر کمی سازگاری بهتری با تجربه داشته باشد و یا تعداد بیشتری از پدیده‌ها را توجیه کند.

## فعالیت ۱-۱

درباره نقش فیزیک در پیشبرد فناوری تحقیق کنید و نتیجه کار خود را در کلاس مورد بحث قرار دهید.

## ۱-۳ کاربردهای فیزیک

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان پیرامون ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی‌جان، بدون دانش فیزیک میسر نیست. شما با فراگیری فیزیک می‌آموزید که چگونه: مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به صورت مناسب ثبت کنید. علاوه بر این، آماده می‌شوید که این نتایج را برای دیگران توضیح دهید و درباره نظر و عقیده خود بحث کنید. فراگیری دانش فیزیک توانایی شما را در

انطباق با فناوری سریعاً در حال تغییر عصر حاضر، بالا می‌برد. برای آموختن فیزیک باید با کسب مهارت ریاضی لازم بتوانید نتایج و مفهومی‌ها را با جملات دقیق بیان کنید.

امروزه در جهان، فیزیکدانان علاوه بر فعالیت در شاخه‌های گوناگون فیزیک از قبیل فیزیک ماده چگال، اختر فیزیک، فیزیک هسته‌ای، فیزیک اتمی و مولکولی و لیزر، فیزیک ذره‌های بنیادی، فیزیک پلاسما، فیزیک بنیادی و... در زمینه‌ها و شغل‌های متفاوت دیگری نیز به کار مشغولند که تعدادی از آن‌ها را در ادامه برمی‌شماریم.

**فیزیک پزشکی:** ساخت ابزار پزشکی، فیزیک تندرستی، فیزیک برای معلولان.  
**رایانه:** طراحی رایانه‌ها، طراحی سیستم، طراحی با کمک رایانه، روبات‌ها (آدم‌های ماشینی)، کنترل ریزپردازنده‌ها.

**سازمان‌های دولتی:** صنایع دفاع، انرژی و منابع آن، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، بخش صدور پروانه‌ها و مجوزها، سیاست‌گذاری‌های علمی، مؤسسه استاندارد.

**آموزش:** دبیرستان‌ها، آموزشکده‌ها، دانشگاه‌ها.

**هواشناسی:** اقیانوس‌شناسی، پیش‌بینی هوا.

**علم مواد:** متالورژی، مواد جدید، لایه‌های نازک.

**ژئوفیزیک:** معدن‌شناسی، نفت، جستجوی معادن، پالایش مواد معدنی، زلزله‌شناسی.

**انرژی‌های نو:** انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی موج، ژئوترمال (یا زمین گرمایی).

**مخابرات:** تارهای نوری، ماهواره‌ها، مخابرات راه دور.

**فیزیک محیط زیست:** حفاظت در برابر پرتوها، کنترل سر و صدا، کنترل آلودگی، حفظ محیط زیست.

**مهندسی:** مهندسی شیمی، مهندسی سازه، کنترل، مهندسی برق، مهندسی مکانیک و مهندسی هسته‌ای.

**صنعت:** هوا - فضا، صنایع شیمیایی، الکترونیک، صنایع غذایی، نفت، نیم‌رساناها،

بررساناها و ...

## ۱-۴- اندازه‌گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده‌اید که در ذهن خود برای هرکس یا هرچیز صفت‌ها و ویژگی‌هایی قائلید. به یخ سردی، به آب روانی، به گل زیبایی، به آسمان رنگ‌آبی، به مادر مهربانی، به پسر سبکی، به سنگ سنگینی، به فیل بزرگی جثه و به مورچه نحیفی جثه و... نسبت می‌دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری‌اند و برخی دیگر نه. برای مثال سبکی و سنگینی، بلندی و کوتاهی را

به صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می‌توان اندازه گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.

در زندگی روزانه، هریک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه می‌گیریم، فاصله بین دو نقطه یا طول یک جسم یا ارتفاع و یا عمق یک نقطه از سطح زمین و... را اندازه‌گیری می‌کنیم. این اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های دیگری که می‌توان برشمرده، ممکن است تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشته باشند ولی برای همه آن‌ها می‌توانیم جنبه‌های مشترکی بیابیم. برای روشن شدن این جنبه‌های مشترک، فعالیت زیر را انجام دهید.

## فعالیت ۲-۱

فعالیت‌های روزانه چند نفر از مردم اطراف خود (پزشک، خیاط، اعضای خانواده، عطار، شیشه‌بر و...) را به دقت در نظر بگیرید. جدولی همانند جدول زیر را تنظیم و پس از تحقیق آن را پر کنید. آنگاه جدول خود را با جدول افراد گروه خود مقایسه کنید و اگر در جدول اعضای گروه شما ستون‌های دیگری وجود دارد به جدول خود اضافه کنید.

	چه چیزی را اندازه می‌گیرد	وسایل اندازه‌گیری	مقادیر به دست آمده	اطلاعات دیگر
پزشک	فشار خون دمای بدن	فشارسنج دماسنج	۸-۱۲ ۳۷/۵ درجه سلسیوس	
نجار				
خیاط				

اکنون نتیجه بحث گروه خود را به کلاس گزارش کنید.

**جایگاه اندازه‌گیری در فیزیک:** پیش از این دیدیم که گام اول در روش بررسی هر موضوع در فیزیک، انجام آزمایش است. در هر آزمایش با چند نوع اندازه‌گیری سر و کار داریم. با مرور کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌ها را بیابید و آن‌ها را نیز در جدولی که در فعالیت قبلی تهیه کرده‌اید، درج کنید. با مرور این جدول آیا می‌توانید ویژگی‌ای بیابید که (مانند زیبایی گل) قابل اندازه‌گیری نباشد؟

پاسخ شما به یقین منفی است. در واقع همان گونه که در قسمت ارکان فیزیک گفته شد، فیزیک مجموعه‌ای است از اندازه‌گیری‌ها و رابطه بین نتیجه‌های آن‌ها که نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک را می‌سازند. این که می‌گویند «فیزیک علم اندازه‌گیری است» در حقیقت اهمیت موضوع اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

**یکای (واحد) اندازه‌گیری:** یکی از جنبه‌های مشترک بین همه اندازه‌گیری‌ها وجود یک یکای اندازه‌گیری است. با انجام هر یک از اندازه‌گیری‌هایی که در جدول اندازه‌گیری‌ها درج کرده‌اید، یک عدد به دست می‌آید. برای مثال ممکن است در آن جدول برای بلندی قامت یک فرد  $1/72$  متر یا برای طول یک اتاق  $8$  قدم و یا برای فاصله بین دو شهر  $107$  km به دست آمده باشد. یقیناً می‌دانید که در هر مورد، عدد گزارش شده بیان می‌کند که مقدار کمیت مورد نظر چند برابر مقدار کمیتی است از همان جنس که به عنوان مقیاس انتخاب شده است. این مقیاس را **یکا** (یا واحد) آن کمیت می‌نامند.

### فعالیت ۳-۱

با انتخاب یک یکای طول (مثل کتاب)، طول یک نیمکت را اندازه بگیرید. طول نیمکت چند برابر طول کتاب است؟ این اندازه‌گیری را با یکاهای دیگری چون مداد و وجب انجام دهید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

طول نیمکت (یا هر چیز دیگری که مورد نظر شماست)	یکا
	طول یک کتاب
	طول یک مداد
	طول یک وجب

چرا برای طول نیمکت اعداد متفاوتی به دست آورده‌اید؟ دلیل این اختلاف چیست؟ به نظر شما برای آن که همه اندازه‌گیری‌ها، طول یکسانی را برای نیمکت بدهند، چه باید کرد؟

بنابراین شما نیز دریافته‌اید که برای آن که نتیجه همه اندازه‌گیری‌هایی که بر روی یک کمیت انجام می‌شود یکسان باشد، باید از یکای یکسانی استفاده کنیم. دانشمندان برای آن که رقم‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت با هم مقایسه پذیر باشند، در نشست‌های بین‌المللی توافق کرده‌اند که برای هر کمیت، یکای معینی تعریف کنند.

## فعالیت ۴-۱

با بحث و تبادل نظر گروهی در کلاس خود سعی کنید نکته‌هایی را که باید در انتخاب یکاهای بین‌المللی مورد توجه قرار داد، مشخص کنید. نتیجه کار خود را با مقایسه با نتیجه گروه‌های دیگر تکمیل کنید.

دانشمندان با انجام چنین بررسی‌هایی نتیجه گرفته‌اند که: یکای هر کمیت باید به گونه‌ای انتخاب شود که در شرایط فیزیکی تعیین شده تغییر نکند و در دسترس باشد. یکی از مجموعه یکاهای مورد توافق بین‌المللی را به اختصار مجموعه یکاهای SI می‌نامند.<sup>۱</sup>

یکاهای اصلی: در عمل نیازی نیست که برای هر یک از کمیت‌های فیزیکی یکایی تعریف شود. برای مثال، اگر واحد طول تعریف شده باشد، دیگر لازم نیست برای مساحت یکای مستقلی تعریف شود؛ بلکه می‌توانیم آن را تنها با اندازه‌گیری‌های طول و با استفاده از رابطه‌های هندسی محاسبه کنیم. برای نمونه مساحت مستطیل برابر است با حاصل ضرب طول ضلع بزرگ در طول ضلع کوچک. یعنی با اندازه‌گیری این طول‌ها برحسب متر، مساحت برحسب متر در متر یعنی متر مربع مشخص می‌شود. آن دسته از کمیت‌هایی را که یکاهای آن‌ها به‌طور مستقل تعریف شده‌اند، کمیت‌های اصلی و یکاهای آن‌ها را یکاهای اصلی می‌نامند. سایر کمیت‌ها از قبیل مساحت، حجم و... کمیت‌های فرعی نام دارند. یکای کمیت‌های فرعی را می‌توان بر حسب یکاهای اصلی تعیین کرد. طول، جرم و زمان از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که در ادامه یکای هر یک را معرفی می‌کنیم.

یکای طول: یکای طول در SI، متر نام دارد (که آن را با نماد m نمایش می‌دهند). برای این طول (یک متر) نمونه استاندارد ساخته شده است که در موزه سور در فرانسه نگهداری می‌شود. این نمونه میله‌ای است از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم با دو علامت روی آن که فاصله بین آن‌ها در دمای صفر سلسیوس به‌طور دقیق برابر طول توافق شده بین‌المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همه کشورهای نمونه‌هایی مشابه این نمونه استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند. یکای جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم نام دارد (که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند). برای این یکا نیز یک نمونه استاندارد به‌صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود و کشورهای دیگر نیز مشابه این نمونه استاندارد را تهیه می‌کنند. یکای زمان: یکای زمان در SI، ثانیه نام دارد (که آن را با نماد s نمایش می‌دهند). طبق یک تعریف قدیمی‌تر، یک ثانیه برابر  $\frac{1}{۸۶۴۰۰}$  یک شبانه‌روز<sup>۲</sup> است.

۱- SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

۲- امروزه در نشست‌های کمیته بین‌المللی وزن‌ها و مقدارها، برای ثانیه تعریف بسیار دقیق‌تری ارائه شده است که همراه با تعریف دقیق متر و کیلوگرم در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک با آن آشنا خواهید شد.

یکای کمیت‌های فرعی: پیش از این دیدیم که نیازی به معرفی یک یکای مستقل برای مساحت نیست؛ زیرا مساحت معمولاً با اندازه‌گیری دو طول و به کمک یک رابطه هندسی محاسبه می‌شود. در نتیجه یکای آن در SI متر مربع ( $m^2$ ) است. به همین ترتیب می‌توانیم یکای هر کمیت فرعی دیگر را با استفاده از رابطه یا رابطه‌های آن کمیت با کمیت‌های اصلی و یا با کمیت‌های فرعی دیگری که یکای آن‌ها قبلاً معرفی شده است، تعریف کرد. از این پس با هر کمیت فرعی که مواجه شویم، یکای آن را نیز معرفی خواهیم کرد.

یکای مناسب برای کمیت‌های خیلی بزرگ یا خیلی کوچک: دیدیم که برای اندازه‌گیری طول، یکای متر انتخاب شده است. در بیش‌تر موارد، طولی را که اندازه‌گیری می‌کنیم، یا کوچک‌تر از متر است و یا مضرب صحیحی از یک متر نیست. در این گونه موارد چه باید کرد؟ یا وقتی جرم جسمی را اندازه‌گیری می‌کنیم، جرم آن می‌تواند کوچک‌تر از یک کیلوگرم و یا مضرب صحیحی از آن نباشد. همان‌گونه که به نظر می‌رسد، باید یکاهای کوچک‌تری را نیز تعریف کنیم.

در SI یکاهای کوچک‌تر را با تقسیم یکای مربوط به  $10$ ،  $100$ ، و  $1000$  ... قسمت به دست می‌آورند. برای مثال متر را به صد قسمت تقسیم می‌کنند و هر قسمت آن را یک سانتی‌متر می‌نامند. به همین ترتیب وزنه‌ای که جرم آن  $\frac{1}{1000}$  کیلوگرم است، وزنه یک گرمی نام دارد. برای یکاهای بزرگ‌تر نیز مضرب‌های  $10$ ،  $100$ ، و  $1000$  ... برابر یکای مربوط را در نظر می‌گیرند. این یکاهای کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر را توسط پیشوندی که به یکای مربوط اضافه می‌شود، نامگذاری می‌کنند. این پیشوندها در جدول ۱-۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱-۱

پیشوند	مضرب	نماد	پیشوند	مضرب	نماد
دسی	$\frac{1}{10} = 10^{-1}$	d	دکا	$10$	da
سانتی	$\frac{1}{100} = 10^{-2}$	c	هکتو	$100$	h
میلی	$\frac{1}{1000} = 10^{-3}$	m	کیلو	$1000$	K
میکرو	$\frac{1}{10^6} = 10^{-6}$	$\mu$	مگا	$10^6$	M
نانو	$\frac{1}{10^9} = 10^{-9}$	n	گیگا	$10^9$	G
پیکو	$\frac{1}{10^{12}} = 10^{-12}$	p	ترا	$10^{12}$	T



## تمرین ۱-۱

با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید :

الف - ۵ کیلومتر چند سانتی متر است؟

ب -  $3^0$  ثانیه چند نانو ثانیه است؟

پ - ۳ گرم چند میکروگرم است؟

**نمادگذاری علمی:** در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً فاصله زمین تا خورشید حدود  $150,000,000 \text{ km}$  (یکصد و پنجاه میلیون کیلومتر) و یا  $150,000,000,000 \text{ m}$  (یکصد و پنجاه میلیارد متر) است. یا مثلاً جرم یک ذره برابر  $12/000000$  گرم به‌دست آمده است. برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز  $3^0$  صفر قرار داد و پس از آن رقم  $9109$  را نوشت. بدیهی است که نوشتن چنین عددهایی به‌صورت اعشاری و یا با صفرهای زیاد، علاوه بر آن که خواندن و نوشتن را مشکل می‌کند، احتمال اشتباه را هم زیاد می‌کند. از این رو با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبه مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را ساده می‌کنند.

در نمادگذاری علمی هر مقدار را به‌صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و  $10^1$  و توان صحیحی از  $10^0$  می‌نویسند. به‌عنوان مثال فاصله زمین تا خورشید به‌صورت  $1/5 \times 10^{11} \text{ km}$  و یا  $1/5 \times 10^{11} \text{ m}$  و جرم یک ذره  $12/000000$  به‌صورت  $1/2 \times 10^{-6} \text{ g}$  یا  $1/2 \times 10^{-9} \text{ kg}$  و جرم الکترون به‌صورت  $9/109 \times 10^{-31} \text{ kg}$  نوشته می‌شود. (درمورد اعداد اعشاری به تعداد شماره‌هایی که ممیز به جلو آورده شده است، برای ده نمای منفی گذارده می‌شود.)

## مثال ۱-۱

اعداد زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی بنویسید.

الف - ۵۲۸۰

ب - ۸۷۲۰۰۰

پ -  $0/00215$

ت -  $0/040510$

ث - ۱۰۰۰

ج -  $0/0001$

حل: با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم:

الف -  $5280 = 5/28 \times 10^3$       ب -  $872000 = 8/72 \times 10^5$

پ -  $0/00215 = 2/15 \times 10^{-3}$       ت -  $0/040510 = 4/051 \times 10^{-2}$

ث -  $1000 = 1 \times 10^3$       ج -  $0/0001 = 1 \times 10^{-4}$

### تمرین ۲-۱

جای خالی را در هریک از تساوی‌های زیر پر کنید.

الف -  $0/73 \times 10^4 = \dots\dots\dots$

ب -  $54000000 = 5/4 \times \dots\dots\dots$

پ -  $0/173 \times 10^{-3} = \dots\dots\dots$

ت -  $0/0625 \times 10^{-4} = 6/25 \times \dots\dots\dots$

### تمرین ۳-۱

با استفاده از جدول ۱-۱ و شیوه نمادگذاری علمی، ۱۲۵ متر را برحسب میکرون

(میکرومتر) بنویسید.

### وسیله و روش اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌ها در فیزیک توسط وسیله‌هایی انجام می‌شود که معمولاً با توجه به کمیت مورد اندازه‌گیری انتخاب و یا طراحی می‌شوند و هریک روش استفاده خاص خود را دارند. برای مثال، وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری ضخامت یک برگ کاغذ مناسب است مسلماً برای اندازه‌گیری طول حیاط مدرسه مناسب نیست.

وسیله اندازه‌گیری طول: در اندازه‌گیری طول‌های نه‌چندان بزرگ و نه‌چندان کوچک از یک خط‌کش یا متر نواری که برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر مدرج شده باشد، استفاده می‌کنند.

## فعالیت ۵-۱

به همراه گروه خود :

- ۱- دربارهٔ روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک تحقیق کنید.
- ۲- از آزمایشگاه دبیرستان، کولیس و ریزسنج بگیرید و چگونگی کار با این دو وسیله را بنویسید.
- ۳- هریک از موردهای زیر را بهتر است با چه ابزاری اندازه بگیریم؟  
فاصله دو شهر، قطر یک سیم، ضخامت یک برگ کاغذ، بلندی موی سر، بلندی قد و ضخامت کتاب.
- ۴- ضخامت یک برگ کاغذ را اندازه بگیرید.

گزارش کار یک آزمایش چیست؟ گزارش کار همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، شرح جزئیات و مرحله‌های انجام یک آزمایش است و باید حاوی نکته‌های زیر باشد :

- ۱- هدف از انجام آزمایش.
- ۲- نام آزمایشگر یا آزمایشگران (یا نام گروه).
- ۳- زمان و محل انجام آزمایش.
- ۴- وسیله‌های آزمایش همراه با شرح جزئیات و شکل.
- ۵- شرح روش یا روش‌های آزمایش به صورت کاملاً مجزا از هم و مرحله به مرحله.
- ۶- درج عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.
- ۷- در صورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.
- ۸- عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها.
- ۹- نتیجه‌گیری.
- ۱۰- هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد.

## آزمایش ۱-۱

مساحت روی جلد کتاب فیزیک ۲ را اندازه بگیرید و آن را برحسب  $m^2$ ,  $cm^2$ ,  $mm^2$  بنویسید. گزارش کار آزمایش مربوط را بنویسید.

وسیلهٔ اندازه‌گیری جرم: جرم را معمولاً با ترازوی شاهین‌دار یا ترازوی دو کفه‌ای اندازه می‌گیرند. شکل (۱-۱) یک ترازوی شاهین‌دار معمولی آزمایشگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ - ترازوی شاهین‌دار

شاهین ترازو از وسط روی تیغهٔ کاردکی قرار می‌گیرد که بر روی پایه‌ی ترازو نصب شده است. دو کاردک هم در دو طرف شاهین به فاصله‌های مساوی از کاردکِ وسط برای حمل کفه‌ها تعبیه شده‌اند. هنگامی که کفه‌ها خالی‌اند، نوک عقربهٔ ترازو درست در مقابل صفر صفحهٔ مدرج قرار می‌گیرد و موازنهٔ دو کفه را نشان می‌دهد.

هرگاه جرم‌هایی که روی کفه‌ها قرار می‌دهیم با هم برابر باشند، عقربه در مقابل صفر قرار می‌گیرد. در حالی که اگر جرم روی یکی از کفه‌ها سنگین‌تر باشد، آن کفه پایین‌تر قرار می‌گیرد و شاهین ترازو را نیز در همان طرف به سمت پایین متمایل می‌کند.

با هر ترازو تعدادی جرم معلوم به نام وزنه (که معمولاً در جعبهٔ وزنه‌ها به ترتیب چیده می‌شوند) همراه است. این وزنه‌ها را معمولاً با یک انبرک مخصوص جابه‌جا می‌کنند تا چربی و ذرات ریز گردوغبار که ممکن است روی انگشتان دست باشد به آن‌ها نچسبد و جرم آن‌ها را تغییر ندهد. برای تعیین جرم یک جسم به کمک ترازو، مرحله‌های زیر را باید انجام داد:

۱- ابتدا صفر ترازو را تنظیم می‌کنیم (این کار توسط پیچ‌هایی که در دو سر شاهین تعبیه شده‌اند، انجام می‌شود) به طوری که وقتی کفه‌ها خالی‌اند، عقربه در مقابل صفر بایستد.

۲- جسم موردنظر را به آرامی در یک کفهٔ ترازو قرار می‌دهیم و در کفهٔ دیگر (با استفاده از انبرک) آن قدر وزنه می‌گذاریم تا تعادل برقرار شود (در این حالت شاهین دوباره افقی می‌شود و عقربه بار دیگر در مقابل صفر می‌ایستد).

در این صورت جرم جسم با جرم وزنه‌ها برابر است.

## آزمایش ۲-۱

جرم یک سیب، یک عینک و یک خط‌کش را توسط ترازو چندبار اندازه بگیرید و گزارش کار آزمایش را بنویسید.

وسیله اندازه‌گیری زمان: وسیله متداول برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به صورت‌های مختلف در همه‌جا موجود است.

## فعالیت ۶-۱

با بحث و تبادل نظر گروهی توضیح دهید که چگونه می‌توان زمان نوسان (زمان یک رفت و برگشت کامل) یک آونگ را اندازه‌گیری کرد.

## فعالیت ۷-۱

سنگی را به هوا پرتاب کنید. مدت زمانی که سنگ در هواست را چگونه اندازه می‌گیرید؟ وسیله و روش اندازه‌گیری را شرح دهید.

وسیله اندازه‌گیری حجم مایع‌ها: حجم یک مایع را می‌توان با استفاده از پیمانه‌ها و یا ظرف‌های مدرج اندازه گرفت.

## فعالیت ۸-۱

آزمایشی طراحی کنید که با کمک یک ترازو و یک استوانه مدرج جرم و حجم یک قطره آب را اندازه بگیرید. آزمایش را انجام دهید و گزارش کار خود را در کلاس ارائه نمایید.

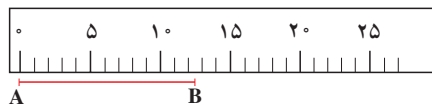
## فعالیت ۹-۱

یک شیشه نوشابه خالی داریم که بر روی آن حجم آن ثبت شده است. چگونه می‌توانید با استفاده از این شیشه نوشابه حجم یک استکان آب را اندازه بگیرید؟ آیا این اندازه‌گیری دقیق است؟ توضیح دهید.

دقت اندازه‌گیری: آیا با خط‌کشی که برحسب میلی‌متر مدرج شده است، می‌توان طول‌های کمتر از یک میلی‌متر را اندازه گرفت؟ آیا با ساعتی که فقط عقربه‌های ساعت‌شمار و دقیقه‌شمار دارد می‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت؟

فرض کنید که می‌خواهید طول یک پاره‌خط معین مثلاً  $AB$  در شکل (۲-۱) را توسط یک خط‌کش میلی‌متری اندازه بگیرید. در خط‌کش میلی‌متری فاصله بین هر دو نشانه متوالی برابر یک میلی‌متر است. برای این کار همان‌گونه که از شکل (۲-۱) پیداست، صفر خط‌کش را در نقطه  $A$  قرار می‌دهیم. آنگاه رقمی که در مقابل انتهای پاره‌خط، یعنی در مقابل نقطه  $B$  قرار می‌گیرد، برابر طول پاره‌خط  $AB$  است. در شکل، نقطه  $B$  بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که طول پاره‌خط از ۱۲ میلی‌متر بیش‌تر و از ۱۳ میلی‌متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیش‌تر از ۱۲ میلی‌متر یا چقدر کمتر از ۱۳ میلی‌متر است، معلوم نیست.

به همین ترتیب با ساعتی که عقربه ساعت‌شمار و دقیقه‌شمار دارد نمی‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت. برای تمام وسیله‌های اندازه‌گیری این محدودیت اندازه‌گیری وجود دارد. پاره‌ای از وسیله‌های اندازه‌گیری طول‌هایی تا  $\frac{1}{100}$  میلی‌متر را اندازه می‌گیرند و طول‌های کمتر از آن را نمی‌توانند اندازه بگیرند. پاره‌ای از زمان‌سنج‌های رقمی (دیجیتالی) تا  $\frac{1}{1000}$  ثانیه را اندازه می‌گیرند. بنابراین، برای هر وسیله اندازه‌گیری کم‌ترین مقداری وجود دارد که کوچک‌تر از آن را نمی‌تواند اندازه بگیرد.



شکل ۲-۱- اندازه‌گیری طول پاره‌خط با خط‌کش میلی‌متری

کم‌ترین مقداری را که یک وسیله می‌تواند اندازه بگیرد، دقت اندازه‌گیری با آن وسیله می‌نامند. در اندازه‌گیری‌ها، عدد به‌دست آمده نباید مقداری کم‌تر از دقت اندازه‌گیری وسیله را نشان بدهد. برای مثال، اگر طول پاره‌خطی با خط‌کش میلی‌متری اندازه گرفته می‌شود، طول پاره‌خط برحسب میلی‌متر با یک عدد صحیح مثلاً ۱۲ میلی‌متر بیان می‌شود. به‌عنوان مثال با این خط‌کش نمی‌توان طول پاره‌خط را با عددی نظیر  $12/1$  یا  $12/2$  میلی‌متر بیان کرد.

## تمرین ۴-۱

دقت اندازه‌گیری پیمان‌های به حجم ۵ سانتی متر مکعب چقدر است؟ کدام یک از عددهای زیر می‌تواند نتیجه اندازه‌گیری با این پیمان‌ها باشد؟

الف -  $20 \text{ cm}^3$       ب -  $21 \text{ cm}^3$

پ -  $19 \text{ cm}^3$       ت -  $20/5 \text{ cm}^3$

## عبدالرحمان خازنی

ابومنصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه علم‌الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره‌شناسان قرون ۵ و ۶ ایران است. درباره تاریخ ولادت و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می‌شود که وفات او بعد از سال ۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می‌زیست و در همین شهر به دانش‌آموزی پرداخت و با جهد بسیار در حوزه دانش پیشرفت نمود. چنان‌که در عهد ملک‌شاه سلجوقی در شهر مرو از ریاضی‌دانان و منجمان بزرگ به شمار می‌رفت. وی کتاب مشهور خود در نجوم، زیج معتبر سنجر، را در روزگار پادشاهی سلطان سنجر تدوین کرد و بنا بر رسوم آن زمان کتاب را به نام سنجر، زیج معتبر سنجر نام‌گذاری نمود اما در مقابل چیزی از سلطان نپذیرفت.

از خازنی کتاب‌های زیر را می‌شناسیم:

۱- زیج معتبر سنجر یکی از آثار مهم نجوم دوره اسلامی

۲- رساله فی آلات العجیبه الرصدیه

۳- رساله الاعتبار در نجوم نظری

۴- میزان الحکمه، یکی از مهمترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره اسلامی

یکی از مهم‌ترین کارهای علمی خازنی طراحی و ساخت نوعی ترازو به نام ترازوی حکمت است که در نوع خود از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. برعکس شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌نماییم ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از ۷ کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها در عین آن‌که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌داده‌اند، باعث می‌شده‌اند دقت وسیله در سنجش اوزان بالا رود به طوری که امروزه ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

در کتاب میزان الحکمه خازنی که یکی از جالب‌ترین آثار علم‌الحیل مربوط به دوره اسلامی است شکل، روش ساخت و روش کار با حدود ۵۰ وسیله مکانیکی شرح داده شده است. در این کتاب او به مباحثی مانند مرکز ثقل، سنگینی و سبکی، قوانین تعادل مایع‌ها و بسیاری مسائل دیگر پرداخته است.

امروزه ثابت شده است خازنی عضو گروهی بوده است که به فرمان سلطان ملک‌شاه سلجوقی در حدود سال ۴۷۰ قمری مأمور اصلاح تقویم در ایران شدند. مأموریت این افراد باعث طراحی و ساخت تقویم جلالی شد که از جمله دقیق‌ترین و معتبرترین تقویم‌های دنیا به شمار می‌رود.

## ۱-۵- کمیت‌های فیزیکی

دیدیم که فیزیک دانش بررسی کمیت‌های قابل اندازه‌گیری است. بنابراین می‌توان گفت که هر کمیتی که در فیزیک مطرح می‌شود، باید قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به آن‌چه که در مورد اندازه‌گیری خواندیم، می‌توانیم بگوییم که تعریف یک کمیت فیزیکی هنگامی کامل می‌شود که برای آن یک یکای مناسب و یک روش اندازه‌گیری تعریف کرده باشیم.

کمیت‌های فیزیکی به دو دسته متمایز نرده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند.

**کمیت‌های نرده‌ای:** چهار پیمانۀ ۲۰۰ سانتی‌متر مکعبی آب درون سطلی می‌ریزیم. حجم آب درون سطل چه قدر است؟ اگر دو پیمانۀ دیگر آب به سطل بیفزاییم، حجم آب چه قدر خواهد شد؟ پاسخ هر بند این پرسش تنها با یک عدد به‌طور کامل بیان می‌شود. کمیت‌هایی مانند حجم با این ویژگی که برای مشخص شدن آن‌ها برحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفایت می‌کند نرده‌ای نام دارند.

محاسبه‌های ریاضی این‌گونه کمیت‌ها نظیر جمع یا تفریق، از قاعده‌های متداول در حساب پیروی می‌کنند. در پاسخ به بخش دوم پرسش بالا شما به سادگی حجم افزوده شده را با حجم قبلی جمع کردید.

برخی از کمیت‌های نرده‌ای که تاکنون با آن‌ها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، جرم و زمان. در مقابل، کمیت‌های دیگری نیز در فیزیک داریم که تنها با ذکر مقدار آن‌ها برحسب یک یکای معین، به‌طور کامل مشخص نمی‌شوند.

تصور کنید در حالی که چشمان خود را بسته‌اید، از دوستان که در جایی ایستاده است بخواهید یک قدم بردارد. آیا می‌توانید همچنان با چشمان بسته بگویید که او پس از این حرکت در کجا ایستاده است؟ مطمئناً پاسخ شما منفی است. او ممکن است با این یک قدم به شما نزدیک‌تر یا



دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به عبارت دیگر جابه‌جایی او می‌تواند در هر راستا و سویی باشد. تنها در صورتی می‌توانید از مکان آخری او با اطلاع شوید که علاوه بر فاصله‌ای که او باید جابه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جابه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارد.

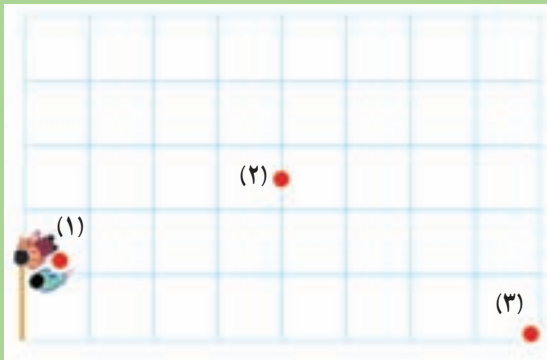
**جابه‌جایی:** در فیزیک، کمیتی به نام جابه‌جایی تعریف می‌کنیم و همان‌طور که از نام آن برمی‌آید، معرف تغییر مکان یک جسم است. جابه‌جایی یک جسم، پاره‌خط جهت‌داری است که ابتدای آن مکان آغازی و انتهای آن مکان پایانی جسم و طول آن مقدار تغییر مکان است. همان‌طور که دیدیم تنها با دانستن مقدار جابه‌جایی نمی‌توانیم آن را به‌طور کامل مشخص کنیم، بلکه باید جهت (یعنی راستا و سوی) آن را نیز بدانیم.

**جابه‌جایی‌های مساوی:** یک دسته سرباز را در حال رژه رفتن مجسم کنید. جابه‌جایی آن‌ها را در یک بازه زمانی معین رسم کنید. مجموعه‌ای از پاره‌خط‌های موازی و مساوی و هم‌سو به دست می‌آورد. در این حالت می‌گوییم که این سربازها جابه‌جایی مساوی داشته‌اند. به عبارت دیگر دو جابه‌جایی را وقتی برابر می‌گویند که به یک اندازه و در یک جهت (یک راستا و یک سو) باشند.

جابه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

## فعالیت ۱۰-۱

روی یک صفحه کاغذ شطرنجی، با انتخاب مقیاس مناسب شکل حیاط مدرسه یا خانه خود را بکشید. نزدیک محل در ورودی حیاط را با شماره ۱ و وسط حیاط را با شماره ۲ و کنار دیوار عمود بر در ورودی را با شماره ۳ مشخص کنید. با این کار

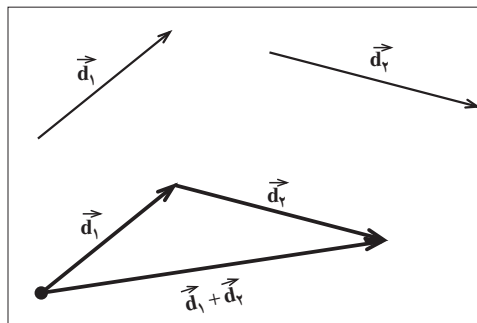


شکل ۱-۳-الف

شما شکلی مشابه شکل ۱-۳-الف به دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محل شماره ۱ به محل شماره ۲ برود. جابه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این جابه‌جایی پاره‌خط جهت‌داری است که

ابتدایش نقطه ۱ و انتهایش نقطه ۲ است). نام این جابه‌جایی را  $d_1$  بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شماره ۲ به محل شماره ۳ برود. این جابه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را  $d_2$  بنامید. جابه‌جایی کل دوست شما  $d_3$  (از نقطه ۱ به نقطه ۳) چگونه است؟ آیا طول  $d_3$  با مجموع طول‌های  $d_1$  و  $d_2$  برابر است؟ اگر نیست پس دو جابه‌جایی  $d_1$  و  $d_2$  را چگونه با هم جمع کنیم تا  $d_3$  به دست آید؟

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت بالا به دست آورده‌اید، درمی‌یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه‌جایی  $\vec{d}_1$  و  $\vec{d}_2$ ، مانند شکل ۱-۳-ب ابتدا جابه‌جایی  $\vec{d}_1$  و سپس از انتهای آن جابه‌جایی  $\vec{d}_2$  را رسم می‌کنیم. پاره‌خط جهت‌داری که ابتدای آن ابتدای  $\vec{d}_1$  و انتهای آن انتهای  $\vec{d}_2$  است، جابه‌جایی کل یا حاصل جمع دو جابه‌جایی را نشان می‌دهد. جابه‌جایی، نمونه‌ای از یک کمیت برداری است. به این ترتیب، کمیت‌های برداری مانند جابه‌جایی‌ها با هم جمع می‌شوند. از این رو قاعده جمع جابه‌جایی‌ها را قاعده جمع برداری نیز می‌نامند. کمیت برداری کمیتی است که بزرگی (مقدار) و جهت (راستا و سو) دارد، و از قاعده جمع برداری پیروی می‌کند. حاصل جمع چند بردار را برایند آن بردارها (یا بردار برایند) نیز می‌نامند.



شکل ۱-۳-ب

## فعالیت ۱-۱۱

با توجه به برابری دو جابه‌جایی بنویسید که دو بردار چه وقت با هم مساویند؟

کمیت‌های برداری را با پاره‌خط‌های جهت‌دار (پیکان) نمایش می‌دهند. پیکان را هم جهت بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار در نظر می‌گیرند. در این کتاب کمیت‌های برداری را توسط پیکان کوچکی ( $\rightarrow$ ) که بر روی نماد کمیت قرار می‌دهیم، مشخص می‌کنیم. مانند  $\vec{d}$ . بزرگی یک بردار را یا توسط دو خط قائم که در دو طرف نماد آن بردار می‌گذارند، مانند  $|\vec{d}|$  و یا با نماد بدون پیکان آن مشخص می‌کنند، مانند  $d$ .

در این کتاب با کمیت‌های برداری دیگری از قبیل نیرو، سرعت، شتاب و ... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

### خاصیت جابه‌جایی جمع برداری

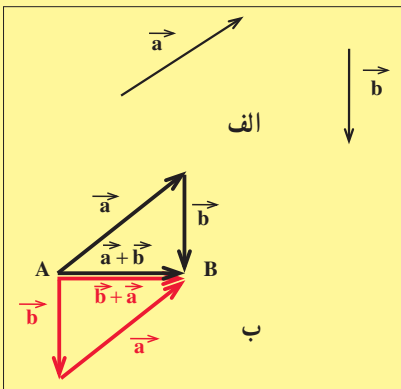
جمع برداری خاصیت جابه‌جایی دارد. یعنی حاصل جمع دو بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

#### مثال ۲-۱

دانش‌آموزی با شروع از یک نقطه معین دو جابه‌جایی بی‌دری  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  انجام می‌دهد. مکان او را با رسم شکل در هریک از دو حالت زیر به دست آورید. هر دو حالت را در یک شکل رسم کنید.

- الف - جابه‌جایی اول برابر  $\vec{a}$  و جابه‌جایی دوم برابر  $\vec{b}$ .
- ب - جابه‌جایی اول برابر  $\vec{b}$  و جابه‌جایی دوم برابر  $\vec{a}$ .

حل: اگر مکان اولیه دانش‌آموز نقطه



A در شکل (۱-۴) باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعده جمع برداری جمع می‌کنیم. با رسم شکل و با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطه B) رسیده است.

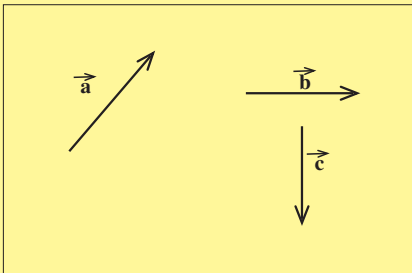
شکل ۱-۴ - جمع برداری خاصیت جابه‌جایی دارد.

با دقت در شکل ۱-۴ درمی‌یابیم که قاعده جمع بردارها را به صورت زیر نیز می‌توانیم بیان

کنیم:

برای یافتن براینند دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  می‌توانیم از یک نقطه دو بردار به ترتیب برابر بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  رسم کنیم. سپس متوازی‌الاضلاع را که این دو بردار دو ضلع مجاور آن را تشکیل می‌دهد، کامل می‌کنیم. بردار براینند، قطری از متوازی‌الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند. این روش جمع دو بردار را قاعده متوازی‌الاضلاع برای جمع بردارها می‌نامند.

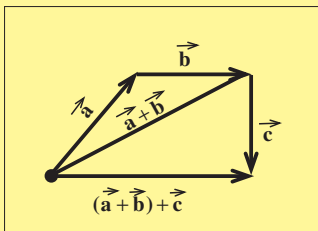
### مثال ۳-۱



بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  را در شکل (۵-۱) در نظر بگیرید. بردار براینند آن‌ها را بدست آورید.

شکل ۵-۱

حل: ابتدا مطابق شکل (۶-۱) از انتهای بردار  $\vec{a}$  برداری مساوی  $\vec{b}$  رسم می‌کنیم. مطابق قاعده جمع برداری،  $\vec{a} + \vec{b}$  برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار  $\vec{a}$  و انتهای آن انتهای بردار  $\vec{b}$  است. سپس این بردار  $\vec{a} + \vec{b}$  را با بردار  $\vec{c}$  جمع می‌کنیم. یعنی از انتهای آن برداری مساوی  $\vec{c}$  رسم می‌کنیم. بردار  $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$  برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار  $\vec{a} + \vec{b}$  و انتهای آن انتهای بردار  $\vec{c}$  است.

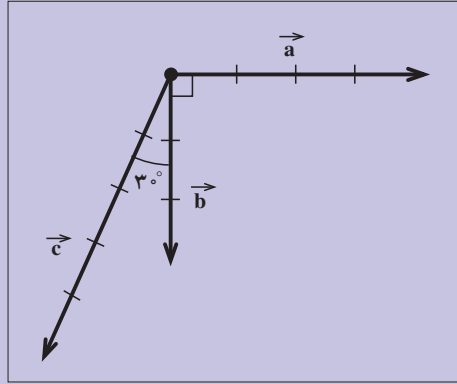


شکل ۶-۱

با حل این مثال درمی‌یابیم که برای جمع کردن چند بردار می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر رسم کنیم. بردار براینند، برداری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

## تمرین ۵-۱

در یک کاغذ میلی متری، با انتخاب مقیاس مناسب، بردارهایی مساوی بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  در شکل (۷-۱) رسم کنید. سپس بردار برآیند این سه بردار را به دست آورید. بزرگی بردار برآیند را با توجه به مقیاسی که انتخاب کرده‌اید، مشخص کنید.



شکل ۷-۱

## فعالیت ۱۲-۱

نشان دهید اگر در تمرین (۵-۱) ترتیب بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  را در جمع عوض کنیم، تغییری در بردار برآیند  $\vec{R}$  به وجود نمی‌آید. این بررسی را برای همه حالت‌های ممکن انجام دهید.

با این فعالیت ثابت کرده‌اید که :

$$\vec{c} + \vec{b} + \vec{a} = \vec{b} + \vec{c} + \vec{a} = \vec{c} + \vec{a} + \vec{b} = \vec{R} \quad (۱-۱)$$

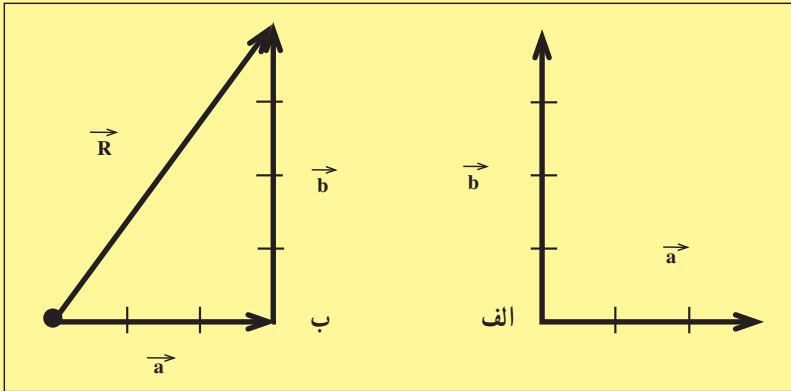
محاسبه بزرگی بردار برآیند : در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه محاسبه بزرگی بردار برآیند را نیز به دست آورد.<sup>۱</sup>

اگر دو بردار بر هم عمود باشند  $(\vec{a} + \vec{b})$ ، محاسبه بزرگی بردار برآیند آن‌ها به کمک قضیه فیثاغورث امکان‌پذیر است. به مثال صفحه بعد توجه کنید.

۱- در این کتاب تنها محاسبه بزرگی برآیند بردارهایی مدنظر است که یا در یک راستا قرار دارند و یا بر یک دیگر عمودند. برای تعیین برآیند دو بردار که با یکدیگر زاویه  $\theta$  می‌سازند، فقط باید از خط‌کش و نقاله استفاده شود، لذا بیان هر رابطه به این منظور و ارزش‌یابی از آن به طور کامل خارج از برنامه درسی این کتاب است.

### مثال ۴-۱

برای دو بردار عمود برهم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  در شکل (۸-۱ الف) داریم  $a = 3$  و  $b = 4$ . براین دو بردار را به دست آورید. بزرگی براین را با استفاده از شکل و همین طور با محاسبه به دست آورید.



شکل ۸-۱

حل: برای به دست آوردن بردار براین  $\vec{R}$ ، مطابق قاعده جمع برداری، در شکل (۸-۱ ب) عمل می‌کنیم. اگر بزرگی  $\vec{R}$  را با خط‌کش اندازه بگیریم،  $R = 5$  به دست می‌آوریم.

همان طور که در شکل دیده می‌شود  $\vec{R}$ ، وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که ضلع‌های آن  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است. بنابراین، می‌توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورث در مثلث قائم‌الزاویه بنویسیم:

$$R^2 = a^2 + b^2 \quad R = \sqrt{9 + 16} = 5$$

باحل این مثال، درمی‌یابیم که بزرگی براین دو بردار عمود برهم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (۲-۱)$$

### مثال ۵-۱

بردار براین دو بردار هم‌جهت  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را به دست آورید. بزرگی دو بردار را

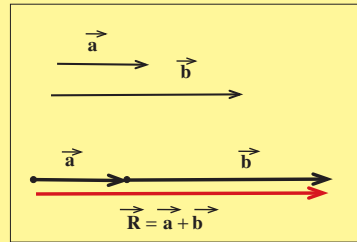
برابر  $a = 3$  و  $b = 4$  فرض کنید.

**حل:** مطابق شکل (۹-۱) ابتدا بردار  $\vec{a}$  و سپس از انتهای آن بردار  $\vec{b}$  را رسم می‌کنیم. چون دو بردار هم‌جهت‌اند، در امتداد هم روی یک خط قرار می‌گیرند. بردار برآیند نیز همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم‌جهت با دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است و بزرگی آن برابر مجموع بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار هم‌جهت هستند، داریم:

$$R = a + b = 3 + 4 = 7$$



شکل ۹-۱

### مثال ۶-۱

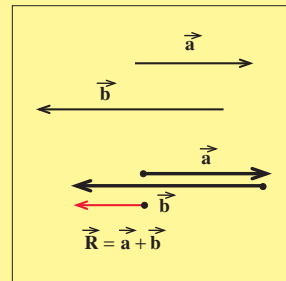
برآیند بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را که در خلاف جهت یکدیگر و بزرگی آن‌ها به ترتیب برابر با  $a = 3$  و  $b = 4$  است به دست آورید.

**حل:** مطابق شکل (۱۰-۱) از انتهای بردار  $\vec{a}$  برداری مساوی  $\vec{b}$  رسم می‌کنیم، در این مورد نیز  $\vec{b}$  در همان راستای  $\vec{a}$ ، ولی سوی آن مخالف آن است. بردار برآیند همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد و هم‌جهت با بردار بزرگ‌تر (یعنی بردار  $\vec{b}$  در این مثال) است. بنابراین، بزرگی برآیند برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار در خلاف جهت هم هستند، داریم:

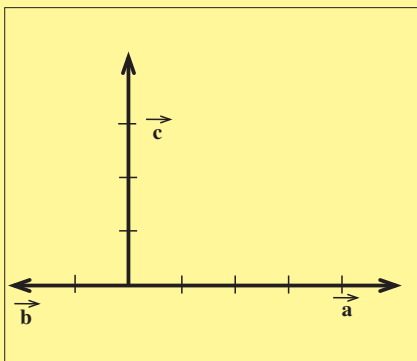
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$



شکل ۱۰-۱

هرگاه بخواهیم چند بردار را با یکدیگر جمع کنیم، با توجه به این که ترتیب بردارها را می‌توانیم به هر صورت که بخواهیم تغییر دهیم، بهتر است اول برایندهایی را که با استفاده از حالت‌های خاص به‌طور ساده‌تر محاسبه می‌شوند، به‌دست آوریم.

### مثال ۷-۱



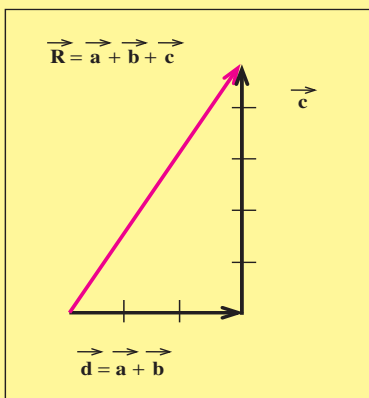
شکل ۱۱-۱

بردار برایندهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  در شکل (۱۱-۱) را رسم و بزرگی برایندها را محاسبه کنید. فرض کنید اندازه بردارها  $a=5$ ،  $b=2$  و  $c=4$  باشد.

حل: برایندهای  $\vec{a}$  و

$\vec{b}$  را  $\vec{d}$  می‌نامیم و ابتدا این برایندها را به‌دست می‌آوریم. با استفاده از مثال (۶-۱)، برداری است هم‌جهت با  $\vec{a}$  ( $a > b$ ) و بزرگی آن برابر  $5-2=3$  واحد است. اکنون برایندهای  $\vec{c}$  و  $\vec{d}$  را مطابق شکل (۱۲-۱) به‌دست می‌آوریم.

با استفاده از مثال (۴-۱) داریم:



شکل ۱۲-۱

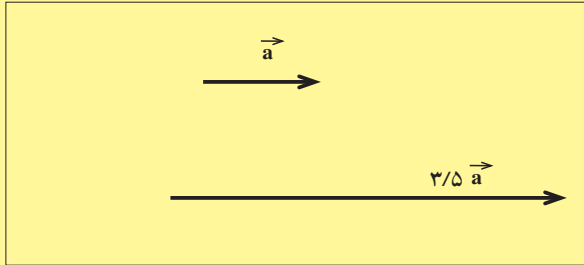
$$R = \sqrt{d^2 + c^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

حاصل ضرب یک عدد در یک بردار: وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند  $m$  ضرب می‌کنیم، جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن  $m$  برابر بردار اول است.



### مثال ۸-۱

بردار  $\vec{a}$  در شکل (۱۳-۱) رسم شده است. بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  را رسم کنید.



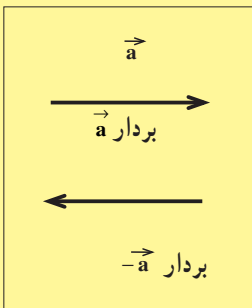
شکل ۱۳-۱

حل: بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  هم جهت (همراستا و همسو) با بردار  $\vec{a}$  و بزرگی آن  $\frac{3}{5}$  برابر بزرگی بردار  $\vec{a}$  است.

اگر برداری را در یک عدد منفی ضرب کنیم، بردار حاصل ضرب در خلاف جهت بردار اولیه خواهد شد و بزرگی بردار در قدرمطلق آن عدد ضرب می‌شود.

### مثال ۹-۱

بردار  $\vec{a}$  در شکل (۱۴-۱) رسم شده است. بردار  $-\vec{a}$  را رسم کنید. (این بردار را قرینه بردار  $\vec{a}$  نیز می‌گویند.)



شکل ۱۴-۱

حل: بردار  $-\vec{a}$  همان گونه که از شکل پیداست، به بزرگی بردار  $\vec{a}$  و در خلاف جهت آن خواهد بود.

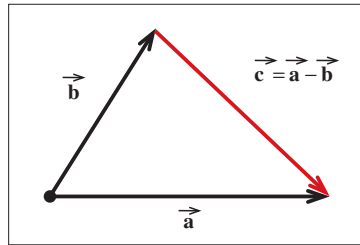
تفریق دو بردار: حاصل تفریق دو بردار نیز یک بردار است.

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$$

$\vec{c}$  برداری است که اگر با  $\vec{b}$  جمع شود بردار  $\vec{a}$  به دست می‌آید، یعنی:

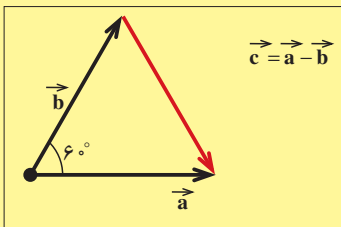
$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$$

برای به دست آوردن  $\vec{c}$ ، نخست دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را مطابق شکل (۱۵-۱) از یک نقطه رسم می‌کنیم. برداری که ابتدای آن بر انتهای بردار  $\vec{b}$  (عامل دوم تفریق) و انتهای آن بر انتهای بردار  $\vec{a}$  (عامل اول تفریق) منطبق باشد، بردار  $\vec{c}$  است.



شکل ۱۵-۱- حاصل تفریق دو بردار

### مثال ۱۰-۱



شکل ۱۶-۱

دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  مطابق شکل (۱۶-۱) با یکدیگر زاویه  $60^\circ$  می‌سازند و بزرگی آن‌ها با هم برابر است. بردار  $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$  را به دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.

**حل:** با توجه به شکل، بردار  $\vec{c}$  برداری است که از انتهای  $\vec{b}$  شروع و به انتهای  $\vec{a}$  ختم می‌شود. بزرگی این بردار با توجه به آن که مثلث حاصل در شکل (۱۶-۱) متساوی‌الاضلاع است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است یعنی:

$$\begin{aligned} |\vec{c}| &= |\vec{a} - \vec{b}| \\ &= a \\ &= b \end{aligned}$$

## تمرین‌های فصل اول

۱- گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.

۲- تحقیق کنید که آیا در مؤسسه‌های نزدیک به محل زندگی شما، کارکنانی با تخصص فیزیک کار می‌کنند یا نه؟ اگر پاسخ مثبت است، سمت و وظیفه هر یک را بنویسید.

۳- با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید که  $۵۶/۰$  میکرون

الف - چند میلی‌متر

ب - چند متر

است؟ پاسخ خود را با استفاده از شیوه نمادگذاری علمی بنویسید.

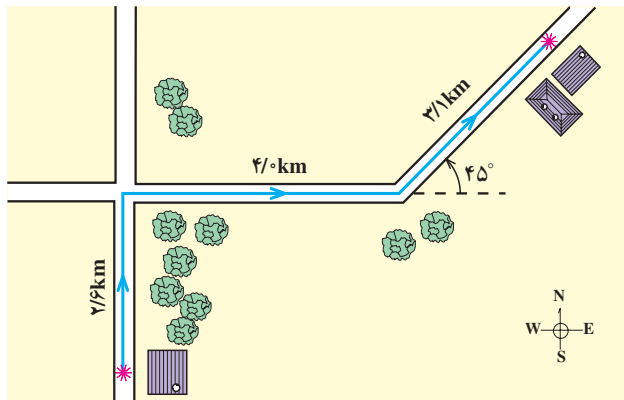
۴- با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید که یک ساعت چند پیکو ثانیه است. پاسخ خود را با استفاده از شیوه نمادگذاری علمی بنویسید.

۵- جرم یک سنجاق ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟

۶- ارتفاع یک برج را چگونه می‌توانید اندازه بگیرید؟

۷- یکی از راه‌های اندازه‌گیری عمق آب اقیانوس‌ها آن است که یک موج فراصوتی را از سطح آب به اعماق آب می‌فرستند، این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب باز می‌گردد و در سطح آب آشکارسازی می‌شود. با اندازه‌گیری بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصله سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می‌شود. اگر بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی  $۱۴$  s و سرعت انتشار صوت در آب  $۱۴۵۰$  m/s باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.

۸- یک پستیچی از نقطه شروع حرکت خود در شکل (۱-۱۷) مسیری را که در شکل نشان داده شده است می‌پیماید. بردار جابه‌جایی کل را با رسم نموداری با مقیاس مناسب به دست آورید.

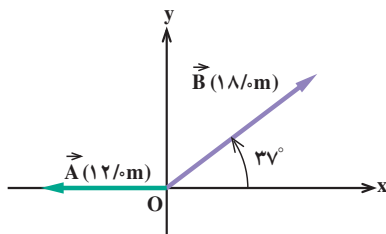


شکل ۱-۱۷

۹- با رسم شکل، نشان دهید که عمل جمع برداری خاصیت انجمنی دارد، یعنی

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$$

۱۰- برای دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  در شکل (۱۸-۱)



شکل ۱۸-۱

الف - بردار  $\vec{A} + \vec{B}$

ب - بردار  $\vec{A} - \vec{B}$

را با رسم نمودار به دست آورید.

۱۱- شخصی ۸ متر به طرف شمال حرکت می کند و سپس جهت حرکت خود را عوض کرده

و ۴ متر به طرف جنوب حرکت می کند. بزرگی و جهت بردار جابه جایی او چه قدر است؟

۱۲- بزرگی بردار  $\vec{a}$  برابر ۲ و در جهت غرب به شرق است. بزرگی و جهت بردارهای زیر را

تعیین کنید.

الف -  $\vec{b} = -۲\vec{a}$

ب -  $\vec{a} + \vec{b}$

پ -  $\vec{a} - \vec{b}$



جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

انسان‌ها از دیرباز، برای سهولت جابه‌جایی بین دو نقطه از جاده استفاده می‌کردند.

## حرکت شناسی

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می کنید، حرکت های بسیاری را مشاهده می کنید. افرادی که از شما دور می شوند یا به شما نزدیک می شوند، اتومبیل هایی که در حرکت اند، پرندگانی که پرواز می کنند، برگی که از درخت می افتد و حرکت های بسیاری دیگر که هر روز مشاهده می کنید.





الف



ب  
شکل ۱-۲

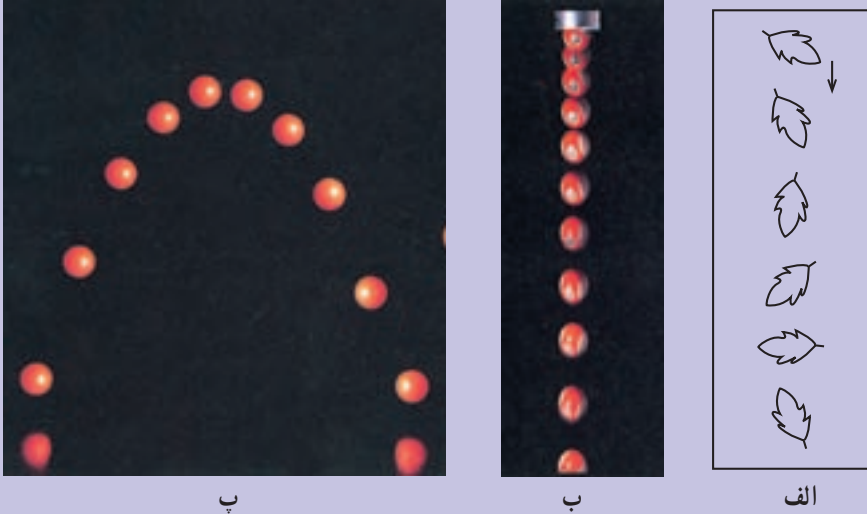
زمانی که حرکت‌هایی نظیر افتادن یک برگ از شاخهٔ درخت یا حرکت یک اتومبیل و مانند آن‌ها را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیش‌تر موارد همه بخش‌های جسم به یک اندازه جابه‌جا نشده‌اند و حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را در نظر بگیرید (شکل ۱-۲ - الف). اگرچه این حرکت ساده به نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت به همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند. بعضی از آن‌ها تندتر و بعضی دیگر کندتر در حرکتند.

در شکل (۱-۲-ب) تصویری از یک دوندۀ را می‌بینید. برای تهیه این تصویر، لامپ‌های کوچکی بر روی نقاط مختلفی از بدن دوندۀ که مسیر حرکت آن مورد نظر است، نصب شده است و سپس در طول زمان حرکت از آن عکس‌برداری شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هریک از اندام‌ها، حرکت پیچیده‌ای دارند.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آن‌ها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار باشد. بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون در نظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع کنیم.

## تمرین ۱-۲

در تصویر (الف) یک برگ، در تصویر (ب) یک گلوله کوچک در حال سقوط و در تصویر (پ) گلوله‌ای که به‌طور غیرقائم به بالا پرتاب شده است، دیده می‌شود. به نظر شما کدام یک از این حرکت‌ها ساده‌تر و بررسی کدام یک دشوارتر است؟ چرا؟



شکل ۲-۲

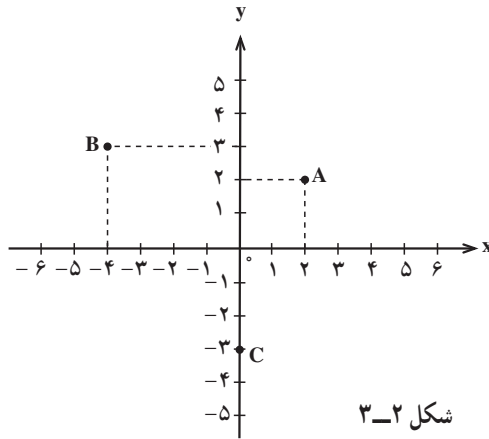
در ادامه، به منظور سهولت بررسی حرکت یک جسم و در جهت دست‌یابی به زبانی مشترک برای توصیف آن، به تعریف چند کمیت می‌پردازیم.

### ۱-۲- بردار مکان و بردار جابه‌جایی

برای توصیف و بررسی حرکت یک جسم باید بتوان معلوم کرد که آن جسم در هر زمانی در چه مکانی قرار دارد یا در چه زمانی به چه مکانی می‌رسد. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید، برای معرفی مکان یک نقطه می‌توان دستگاه مختصاتی اختیار کرد و مکان نقطه را در آن دستگاه معرفی کرد.

در شکل (۲-۳) مکان نقطه‌های  $A(2, 2)$ ،  $B(-4, 3)$  و  $C(0, -3)$  در صفحه شکل نشان داده شده است.

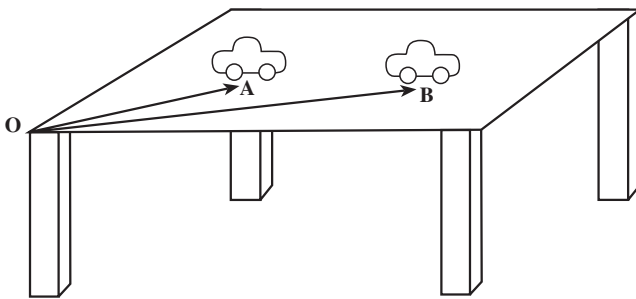




شکل ۳-۲

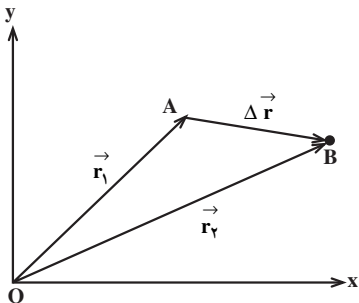
در بررسی حرکت یک جسم نیز، برای نشان دادن مکان جسم از دستگاه مختصات استفاده می‌کنیم.

یک ماشین اسباب‌بازی را در نظر بگیرید که بر روی میزی حرکت می‌کند و در لحظه  $t_1$  (مثلاً ساعت  $1^{\circ}$ ) در مکان A و در لحظه  $t_2$  (مثلاً ساعت  $1^{\circ}$  و  $1$  دقیقه) در مکان B قرار دارد. اگر یکی از گوشه‌های میز را مبدأ اختیار کنیم، مکان ماشین در دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  را می‌توان مانند شکل (۴-۲) به ترتیب با بردار  $\vec{OA}$  و بردار  $\vec{OB}$  نشان داد. بردارهای  $\vec{OA}$  و  $\vec{OB}$  را به ترتیب بردار مکان



شکل ۴-۲

در لحظه  $t_1$  و بردار مکان در لحظه  $t_2$  می‌گوییم. بردار مکان برداری است که مکان جسم را در هر لحظه مشخص می‌کند. ابتدای این بردار، مبدأ مختصات و انتهای آن مکان جسم است و معمولاً آن را با نماد  $\vec{r}$  نشان می‌دهیم.



جابه‌جایی (یا تغییر مکان): جابه‌جایی یک متحرک بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  برداری است که ابتدای آن مکان متحرک در لحظه  $t_1$  و انتهای آن مکان متحرک در لحظه  $t_2$  باشد. در شکل (۵-۲) بردار  $\vec{AB}$  تفاضل دو بردار  $\vec{OB}$  و  $\vec{OA}$

است. یعنی  $\vec{\Delta r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ .

شکل ۵-۲

$\Delta \vec{r}$  بردار جابه‌جایی بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  (یا در بازه زمانی  $\Delta t = t_2 - t_1$ ) است.

## مثال ۲-۱

در شکل (۲-۶)، بردار مکان متحرکی

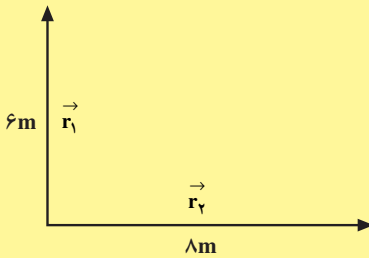
در دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  به ترتیب  $\vec{r}_1$  و  $\vec{r}_2$  است. اگر بزرگی هریک از بردارها به ترتیب  $6\text{m}$  و  $8\text{m}$  و زاویه بین آنها  $90^\circ$  باشد، بزرگی جابه‌جایی بین این دو لحظه چقدر است؟

حل: با توجه به شکل (۲-۷)، بردار

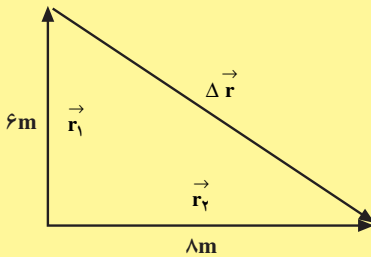
جابه‌جایی یعنی  $\Delta \vec{r}$  وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که بزرگی اضلاع آن  $6\text{m}$  و  $8\text{m}$  است. بنابراین بزرگی جابه‌جایی برابر با:

$$\Delta r = \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10 \text{ m}$$

است.



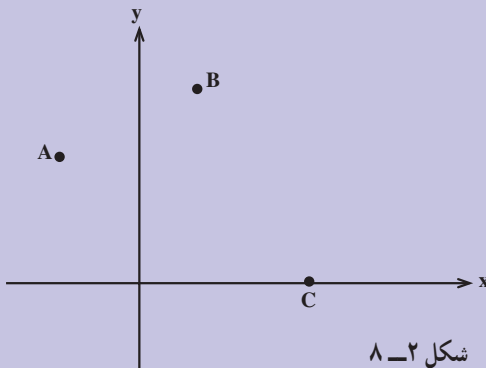
شکل ۲-۶



شکل ۲-۷

## تمرین ۲-۲

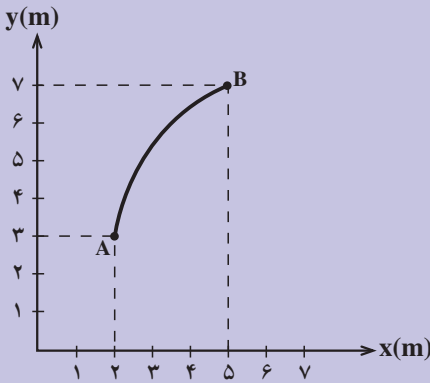
در شکل (۲-۸) متحرکی در لحظه‌های  $t_1$ ،  $t_2$  و  $t_3$  به ترتیب از نقطه‌های A،



شکل ۲-۸

و C عبور کرده است. بردارهای مکان را در لحظه‌های  $t_1$ ،  $t_2$  و  $t_3$  و بردارهای جابه‌جایی را بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  و بین دو لحظه  $t_2$  و  $t_3$  و بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_3$  رسم کنید.

### تمرین ۲-۳



شکل ۲-۹

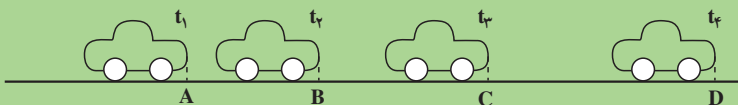
در شکل (۲-۹)، مسیر حرکت متحرکی به صورت منحنی  $\widehat{AB}$  نشان داده شده است. بردار جابه‌جایی بین دو نقطه A و B را رسم کنید و بزرگی آن را به دست آورید.

### ۲-۲- حرکت بر روی خط راست

این نوع حرکت، یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است. در این حرکت، مسیر خط راست است. در حرکت بر روی خط راست اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم، بردارهای مکان و بردارهای جابه‌جایی هم راستا هستند و این سبب می‌شود که محاسبه بر روی این بردارها به سادگی انجام پذیرد.

### فعالیت ۲-۱

متحرکی نظیر یک اتومبیل را در نظر بگیرید که در مسیری به شکل خط راست در حرکت است. شکل (۲-۱) این اتومبیل را در لحظه‌های  $t_1$ ،  $t_2$ ،  $t_3$  و  $t_4$  در مکان‌های A، B، C و D بر روی مسیر نشان می‌دهد. شکل را مجدداً روی صفحه کاغذ رسم کنید. یک بار مبدأ را در خارج از مسیر و بار دیگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنید و در هر یک از دو حالت بردارهای مکان را رسم کنید. به نظر شما در حرکت بر روی خط راست با معلوم بودن بزرگی بردار مکان در هر یک از دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  محاسبه بزرگی بردار جابه‌جایی در کدام حالت ساده‌تر است؟ چرا؟



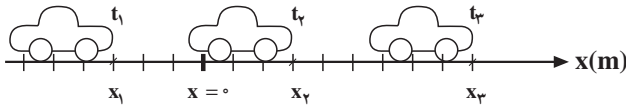
شکل ۲-۱

## تمرین ۲-۴

در حرکت بر روی خط راست، بردارهای جابه‌جایی در بازه‌های زمانی متفاوت از نظر راستا و سو نسبت به هم چه وضعی دارند؟

اگر یکی از محورهای مختصات ( $ox$  یا  $oy$ ) را به‌عنوان مسیر حرکت در نظر بگیرید، می‌توانید مکان متحرک را در هر لحظه به‌وسیله مختصه آن (مثلاً مختصه  $x$ ) که عددی مثبت یا منفی مشخص کنید.

در شکل (۲-۱۱) مسیر حرکت و مکان متحرک در لحظه‌های  $t_1$ ،  $t_2$  و  $t_3$  نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱

در لحظه  $t_1$  مکان متحرک  $x_1 = -3\text{m}$  و در لحظه  $t_2$  مکان آن  $x_2 = +3\text{m}$  و در لحظه  $t_3$  مکان آن  $x_3 = 9\text{m}$  است. از این به بعد در حرکت بر روی خط راست، مکان متحرک را با مختصه مکان مشخص می‌کنیم.

## تمرین ۲-۵

شکل (۲-۱۱) را بر روی یک کاغذ به دقت رسم کنید و بزرگی جابه‌جایی را بین بازه‌های زمانی  $(t_1, t_2)$ ،  $(t_2, t_3)$  و  $(t_1, t_3)$  به دست آورید. بردار جابه‌جایی را در هر یک از بازه‌های گفته شده رسم کنید.

## ۲-۳- نمودار مکان-زمان

برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت بسیار مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص

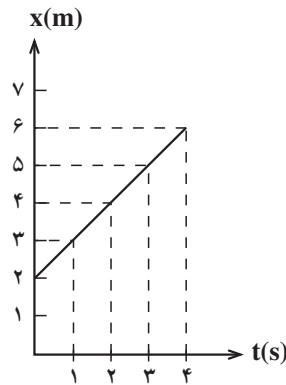
می‌کنیم. برای این کار با توجه به ارقام درون جدول، مقیاس مناسبی برای هر محور انتخاب می‌کنیم. به عنوان مثال، برای مکان هر متر جابه‌جایی را با  $5/5^\circ$  سانتی‌متر روی محور مکان و برای زمان هر یک ثانیه را با یک سانتی‌متر یا نیم‌سانتی‌متر روی محور زمان نشان می‌دهیم. پس از آن نمودار را به روش نقطه‌یابی رسم می‌کنیم.

در جدول (۱-۲) مکان متحرکی در حرکت بر روی خط راست در چند لحظه داده شده است و نمودار مکان - زمان آن در شکل (۱۲-۲)

رسم شده است.

جدول ۱-۲

t (ثانیه)	۰	۱	۲	۳	۴
x (متر)	۲	۳	۴	۵	۶



شکل ۱۲-۲

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در لحظه  $t = 0$  متحرک در دو متری مبدأ بوده است. یا در بازه  $\Delta t = 4 - 3 = 1s$  جابه‌جایی آن  $\Delta x = 1m$  است.

## تمرین ۲-۶

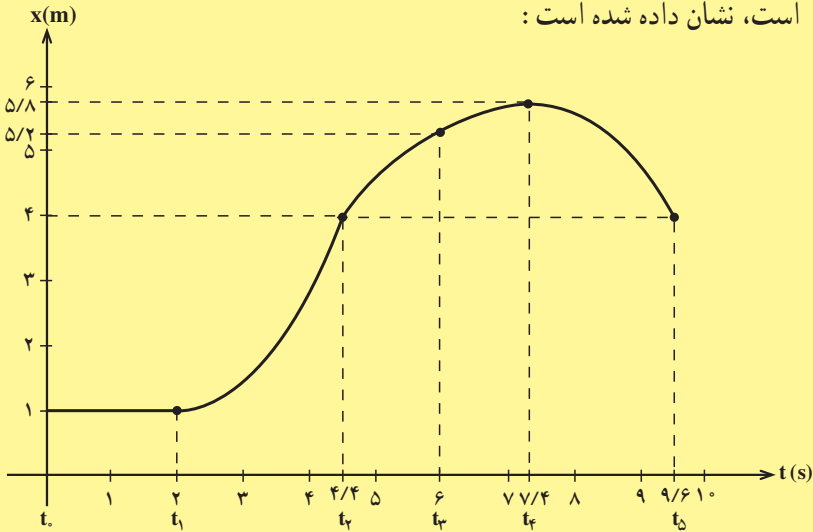
جدول (۲-۲) فاصله متحرکی را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده در جدول نشان می‌دهد. نمودار مکان - زمان این متحرک را رسم کنید.

جدول ۲-۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	۱/۵	۳	۵/۵	۸	۱۱/۵

## مثال ۲-۲

در شکل (۲-۱۳)، نمودار مکان - زمان متحرکی که بر خط راست در حرکت است، نشان داده شده است:



شکل ۲-۱۳

الف - در هر یک از بازه‌های زمانی  $t_1 - t_0$  و  $t_2 - t_1$  و  $t_4 - t_3$  و  $t_5 - t_4$  جابه‌جایی چقدر است؟

ب - بیش‌ترین فاصله متحرک تا مبدأ چقدر است و متحرک در چه لحظه‌ای در این فاصله است؟

پ - از لحظه  $t_4$  تا لحظه  $t_5$  جابه‌جایی چقدر و در چه جهتی است؟

ت - در کدام لحظه جهت حرکت عوض شده است؟

حل: الف - همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، از لحظه صفر تا ۲ ثانیه، مکان

جسم تغییر نکرده و جسم ساکن مانده است. بنابراین، جابه‌جایی در بازه  $t_1 - t_0$  برابر

صفر است. در لحظه  $t_1$  متحرک در مکان  $x_1 = 1\text{m}$  و در لحظه  $t_2$  در مکان  $x_2 = 4\text{m}$

است. بنابراین جابه‌جایی در بازه  $t_2 - t_1$  برابر است با:  $\Delta x = x_2 - x_1 = 4 - 1 = 3\text{m}$

به همین ترتیب جابه‌جایی در بازه  $t_4 - t_3$  برابر است با:  $\Delta x = x_4 - x_3 = 5.8 - 5.2 = 0.6\text{m}$

ب - در لحظه  $t_4 = 7.75\text{s}$  فاصله تا مبدأ بیشترین مقدار و برابر  $x_4 = 5.8\text{m}$

است.

پ - جابه‌جایی در بازه  $t_5 - t_4$  برابر است با:  $\Delta x = x_5 - x_4 = 4 - 5.8 = -1.8\text{m}$

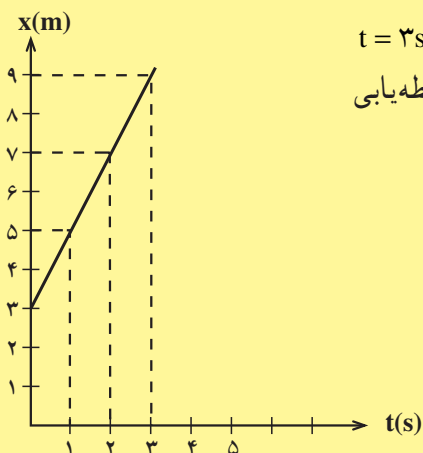
چون جابه‌جایی در این بازه منفی است، معلوم می‌شود که در این بازه جهت حرکت خلاف جهت محور  $x$  است. یعنی متحرک برگشته است.

ت- با توجه به نمودار معلوم می‌شود تا لحظه  $t_4$  متحرک از مبدأ دور و از لحظه  $t_4$  تا  $t_5$  به مبدأ نزدیک شده است. یعنی در لحظه  $t_4$ ، جهت حرکت عوض شده است (قبل از لحظه  $t_4$  جابه‌جایی مثبت و از لحظه  $t_4$  تا لحظه  $t_5$  جابه‌جایی منفی است).

### مثال ۲-۳

متحرکی بر روی خط راست در حرکت است. رابطه بین مکان این متحرک با زمان به صورت  $x = 2t + 3$  است که در آن  $x$  به متر و  $t$  به ثانیه است. نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید و مکان متحرک در دو لحظه  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 3s$  و جابه‌جایی بین این دو لحظه را به دست آورید.

حل: برای رسم نمودار، مکان را در چند لحظه از جمله در  $t = 0$  (لحظه صفر، لحظه شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم) و  $t = 1s$  و  $t = 2s$  و  $t = 3s$  به دست می‌آوریم و سپس به روش نقطه‌یابی نمودار را رسم می‌کنیم.



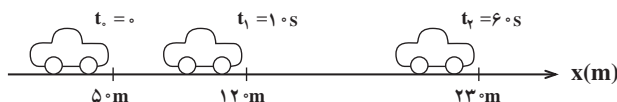
$t(s)$	0	1	2	3
$x(m)$	3	5	7	9

شکل ۲-۱۴

و جابه‌جایی بین  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 3s$  برابر است با:  $\Delta x = x_2 - x_1 = 9 - 3 = 6m$  یادآوری: چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن داشتن دو نقطه کافی است با معلوم کردن مکان در دو لحظه  $t = 0$  و  $t = 1s$  می‌توان نمودار را رسم نمود.

## ۴-۲- سرعت متوسط

شکل زیر مکان اتومبیلی را که در حرکت است در چند لحظه متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۲

الف - بزرگی جابه‌جایی را در بازه‌های  $t_1 - t_0$  و  $t_2 - t_1$  به دست آورید.

ب - در هریک از این بازه‌ها اتومبیل به طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است؟

حل: الف - جابه‌جایی در بازه  $\Delta t = t_1 - t_0 = 10\text{ s}$  برابر است با  $\Delta x = x_1 - x_0 = 120 - 50 = 70\text{ m}$ .

و جابه‌جایی در بازه  $\Delta t = t_2 - t_1 = 50\text{ s}$  برابر است با  $\Delta x = x_2 - x_1 = 230 - 120 = 110\text{ m}$ .

ب - با تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی مربوط به آن، معلوم می‌شود متحرک به طور متوسط در

هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{70}{10} = 7\text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{110}{50} = 2.2\text{ m/s}$$

به این ترتیب می‌توان با معلوم بودن جابه‌جایی در یک بازه زمانی، متوسط جابه‌جایی در هر ثانیه را در آن بازه زمانی به دست آورد که آن را **سرعت متوسط** در آن بازه زمانی می‌نامیم. اگر بزرگی سرعت متوسط را با نماد  $\bar{v}$  نشان دهیم، داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1-2)$$

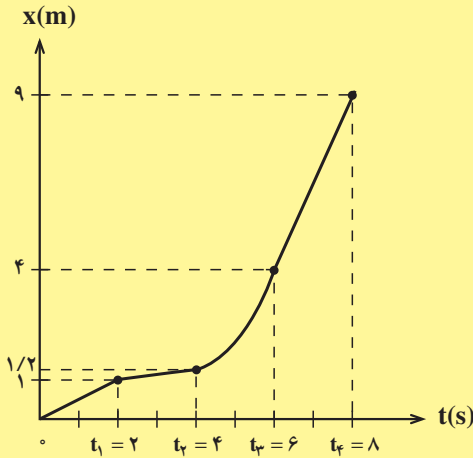
سرعت متوسط کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. یکای سرعت متوسط متر بر ثانیه (m/s) است.

### مثال ۴-۲

در شکل (۱۶-۲) نمودار مکان - زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، نشان داده شده است.

الف - در جدولی هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۲s و ۲s تا ۴s و ۴s تا ۶s و ۶s تا ۸s و جابه‌جایی مربوط به هر بازه را نشان دهید.





شکل ۲-۱۶

ب - آیا می‌توانید تعیین کنید که در کدام بازه متحرک تندتر حرکت کرده است؟  
 پ - در هر یک از این بازه‌های زمانی سرعت متوسط متحرک چقدر است؟  
 حل: الف - مقادیر  $\Delta x$  و  $\Delta t$  در جدول زیر محاسبه شده‌اند.  
 ب - با توجه به مقادیر جدول در بازه زمانی  $t_4 - t_3$  بزرگی جابه‌جایی بیش‌تر از جابه‌جایی‌های دیگر است. یعنی در این بازه زمانی، متحرک تندتر حرکت کرده است.

$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$
$x_1 - x_0 = 1 - 0 = 1$	$t_1 - t_0 = 2 - 0 = 2$
$x_2 - x_1 = 1/2 - 1 = -1/2$	$t_2 - t_1 = 4 - 2 = 2$
$x_3 - x_2 = 4 - 1/2 = 7/2$	$t_3 - t_2 = 6 - 4 = 2$
$x_4 - x_3 = 9 - 4 = 5$	$t_4 - t_3 = 8 - 6 = 2$

پ -

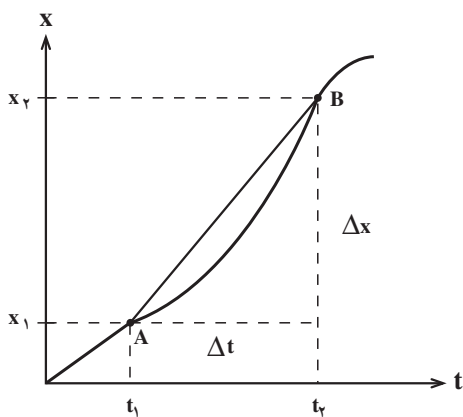
$$\bar{v}_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = \frac{1}{2} \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} = \frac{-1/2}{2} = -1/4 \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_3 = \frac{\Delta x_3}{\Delta t_3} = \frac{7/2}{2} = 7/4 \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_4 = \frac{\Delta x_4}{\Delta t_4} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ m/s}$$

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان - زمان - نمودار مکان - زمان متحرکی در شکل (۱۷-۲) نشان داده شده است. متحرک در لحظه  $t_1$  در مکان  $x_1$  و در لحظه  $t_2$  در مکان  $x_2$  است. سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی  $\Delta t$  برابر است با  $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ . همان طور که در درس



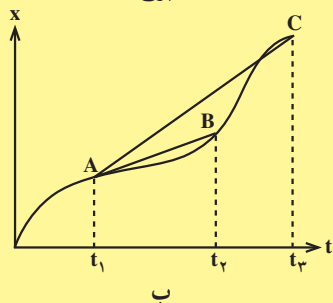
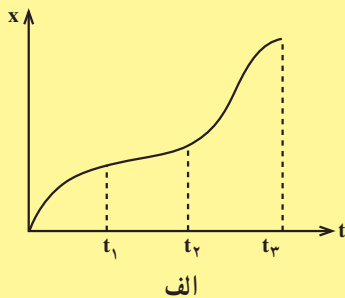
ریاضی دیده‌اید نسبت  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  شیب خطی است که دو نقطه  $A(t_1, x_1)$  و  $B(t_2, x_2)$  را به یکدیگر وصل می‌کند.

با توجه به این که  $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  است، می‌توان گفت سرعت متوسط بین دو نقطه از نمودار مکان - زمان برابر شیب خطی است که آن دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کند.

شکل ۱۷-۲

## مثال ۵-۲

در نمودار شکل (۱۸-۲ الف) سرعت متوسط را در بازه‌های  $t_2 - t_1$  و  $t_3 - t_1$  با هم مقایسه کنید.



شکل ۱۸-۲

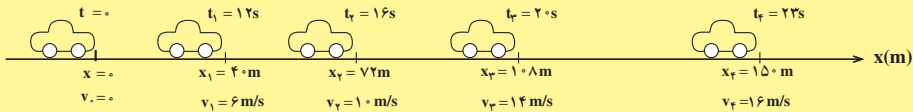
حل: در شکل (۱۸-۲ ب) خط‌های AB و AC به ترتیب بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  و دو لحظه  $t_1$  و  $t_3$  رسم شده‌اند. شیب پاره خط AB برابر سرعت متوسط در بازه  $t_2 - t_1$  است و شیب پاره خط AC برابر سرعت متوسط در بازه  $t_3 - t_1$  است. و چون شیب پاره خط AC بیش‌تر از شیب پاره خط AB است، بنابراین سرعت متوسط در بازه  $t_3 - t_1$  بزرگ‌تر از سرعت متوسط در بازه  $t_2 - t_1$  است.

## ۲-۵- سرعت لحظه‌ای

هنگامی که یک اتومبیل در حرکت است اگر به سرعت‌سنج آن نگاه کنیم مشاهده می‌کنیم که عقربه آن در هر لحظه مقدار مشخصی را نشان می‌دهد. اگر سرعت اتومبیل زیاد شود عقربه مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. رابطه بین سرعت متوسط و سرعتی که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد چیست؟ برای پاسخ به این پرسش به مثال زیر توجه کنید.

### مثال ۲-۶

شکل (۲-۱۹) اتومبیلی را که بر مسیر مستقیم در حال حرکت است در لحظه‌های مختلف نشان می‌دهد. مکان و مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد در لحظه‌های صفر، ۱۲s، ۱۶s، ۲۰s، ۲۳s در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۹

الف - بازه‌های زمانی  $t_4 - t_1$ ،  $t_3 - t_1$  و  $t_2 - t_1$ ، جابه‌جایی و سرعت متوسط مربوط به هر یک از این بازه‌ها را در جدولی ثبت کنید.

ب - در کدام بازه زمانی سرعت متوسط به مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل در لحظه  $t_1$  نشان می‌دهد نزدیک‌تر است؟

حل: الف

$\Delta t(s)$	$\Delta x(m)$	$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} (m/s)$
$t_4 - t_1 = 23 - 12 = 11$	$x_4 - x_1 = 150 - 40 = 110$	۱۰
$t_3 - t_1 = 20 - 12 = 8$	$x_3 - x_1 = 108 - 40 = 68$	۸/۵
$t_2 - t_1 = 16 - 12 = 4$	$x_2 - x_1 = 72 - 40 = 32$	۸

ب - همان‌طور که در جدول دیده می‌شود سرعت متوسط در بازه زمانی  $t_2 - t_1$  کوچکتر از بازه‌های  $t_3 - t_1$  و  $t_4 - t_1$  است.

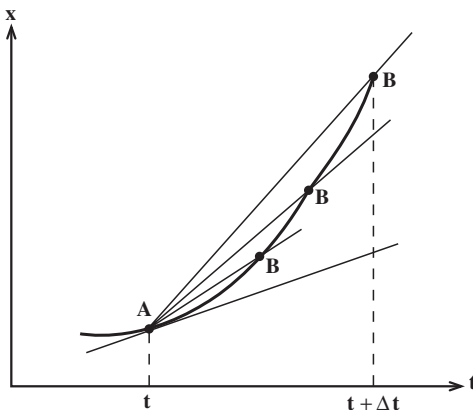
از مقایسه جواب‌های بند (ب) مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه بازه زمانی کوچکتر باشد سرعت متوسط به سرعتی که سرعت‌سنج نشان می‌دهد نزدیکتر خواهد بود. سرعت متوسط در حدی

که بازه زمانی فوق العاده کوچک می شود سرعت لحظه ای نامیده می شود در واقع می توان گفت که سرعت سنج اتومبیل سرعت لحظه ای را نشان می دهد سرعت لحظه ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می نامیم. جدول ۱-۲، برخی از سرعت های تقریبی را نشان می دهد.

جدول ۱-۲- برخی از سرعت های تقریبی

$10^{-3} \text{ m/s}$	۱. سرعت حلزون
$2 \text{ m/s}$	۲. راه رفتن سریع
$10 \text{ m/s}$	۳. دوندۀ دو سرعت
$30 \text{ m/s}$	۴. سرعت پیشینه اتومبیل در بزرگراه
$500 \text{ m/s}$	۵. حرکت کاتوره ای مولکول های هوا
$1000 \text{ m/s}$	۶. سریع ترین هواپیما
$3000 \text{ m/s}$	۷. ماهواره مخابراتی در مدار
$8300 \text{ m/s}$	۸. سرعت فضایی خاص
$2/98 \times 10^4 \text{ m/s}$	۹. سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^4 \text{ m/s}$	۱۰. سرعت دنباله دار هالی
$2 \times 10^6 \text{ m/s}$	۱۱. سرعت الکترون در حرکت مداری

تعیین سرعت لحظه ای به کمک نمودار مکان- زمان: دیدیم که سرعت متوسط بین دو لحظه



شکل ۱-۲- با کوچک شدن  $\Delta t$  نقطه B به A نزدیک می شود.

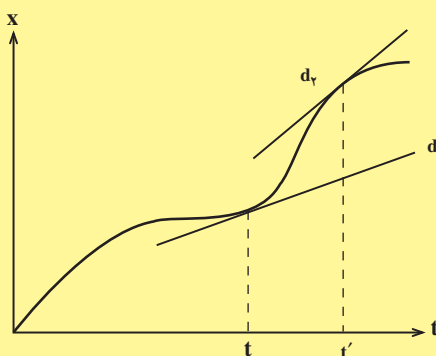
شیب خطی است که نمودار مکان- زمان را در آن دو لحظه قطع می کند. در شکل (۲-۲۰) می بینید که اگر  $\Delta t$  به تدریج کوچک و کوچک تر شود، نقطه های A و B به هم نزدیک و نزدیک تر می شوند به طوری که اگر  $\Delta t$  فوق العاده کوچک شود A و B هم خیلی خیلی به هم نزدیک می شوند و در نهایت خط AB در نقطه A بر نمودار مماس می شود. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت لحظه ای متحرک در لحظه t است.

پس می‌توان نتیجه گرفت که سرعت در هر لحظه برابر شیب مماس بر نمودار مکان-زمان در آن لحظه است.

### مثال ۲-۷

در شکل زیر شیب مماس  $d_1$  سرعت در لحظه  $t$  و شیب مماس  $d_2$  سرعت در لحظه  $t'$  است. در کدام لحظه سرعت بیش‌تر است؟

حل: همان‌طور که در شکل دیده می‌شود چون شیب  $d_2$  بیش‌تر از شیب  $d_1$



است،  $v' > v$  است (سرعت در لحظه  $t'$  بیش‌تر از سرعت در لحظه  $t$  است). با اندازه‌گیری شیب مماس بر منحنی نمودار مکان-زمان می‌توان سرعت لحظه‌ای را به‌دست آورد.

شکل ۲-۲۱

### تمرین ۲-۷

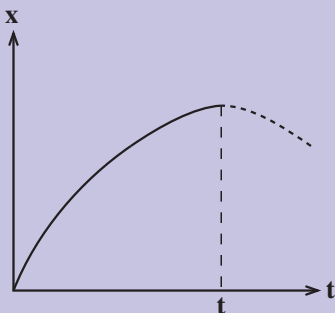
شکل (۲-۲۲) نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

الف - از لحظه صفر تا  $t$  سرعت رو به افزایش است یا کاهش؟

ب - اگر در لحظه  $t$  مماس بر نمودار

موازی محور  $t$  باشد، سرعت در این لحظه

چقدر است؟



شکل ۲-۲۲

## ۲-۶- حرکت یکنواخت بر خط راست

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن یکنواخت نامیده می‌شود. در این حرکت نمودار مکان - زمان یک خط راست است (چرا؟) و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظه دلخواه برابر با سرعت لحظه‌ای می‌شود. چرا؟ بنابراین:

$$\bar{v} = v \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2-2)$$

از رابطه (۲-۲) می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v \Delta t \quad (3-2)$$

هرگاه فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه  $t = 0$  برابر  $x_0$  و فاصله آن تا مبدأ در لحظه  $t$  برابر  $x$  باشد:

$$x - x_0 = v(t - 0)$$

و یا:

$$x = vt + x_0 \quad (4-2)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند،  $x$  فاصله تا مبدأ (مکان) بر حسب متر،  $v$  سرعت لحظه‌ای بر حسب متر بر ثانیه،  $t$  زمان بر حسب ثانیه و  $x_0$  فاصله تا مبدأ در لحظه صفر بر حسب متر است. با توجه به آن چه قبلاً گفته شد، ممکن است مکان مثبت یا منفی باشد. سرعت هم در صورتی که در جهت محور  $x$  یا  $y$  باشد مثبت، در غیر این صورت منفی است.

### مثال ۲-۱

معادله حرکت جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، در SI به صورت  $x = 4t$  است.

الف - فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه‌های  $t_1 = 2s$  و  $t_2 = 5s$  چقدر است؟  
جابه‌جایی جسم بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  چقدر است؟

ب - سرعت متحرک چقدر است؟ نمودار مکان - زمان آن را رسم کنید.

حل: الف - فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه  $t_1$

$$x_1 = 4t_1 = 4 \times 2 = 8m$$

فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه  $t_2$

$$x_2 = vt_2 = 4 \times 5 = 20 \text{ m}$$

و جابه‌جایی متحرک بین این دو لحظه

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 20 - 8 = 12 \text{ m}$$

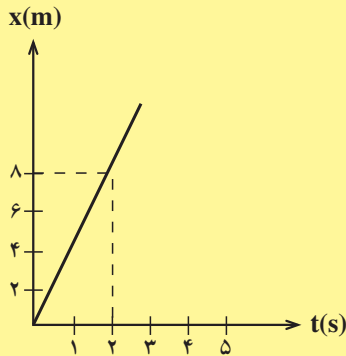
می‌باشد.

ب - در حرکت یکنواخت داریم:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12}{5-2} = 4 \text{ m/s}$$

با توجه به مقادیر به دست آمده برای  $t$  و  $x$ ، نمودار را به روشی که قبلاً گفته

شد، رسم می‌کنیم.



t(s)	۰	۲
x(m)	۰	۸

شکل ۲-۲۳

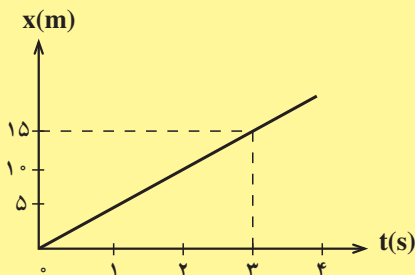
## مثال ۲-۹

نمودار مکان - زمان جسمی

که بر روی خط راست حرکت

می‌کند، مطابق شکل (۲-۲۴)

است.



شکل ۲-۲۴

الف - آیا سرعت این حرکت ثابت است؟ اندازهٔ سرعت چقدر است؟  
 ب - فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر و معادلهٔ حرکت آن و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ  $t_1 = 2s$  و  $t_2 = 5s$  را محاسبه کنید.

حل: الف - چون نمودار مکان - زمان خط راست است حرکت یکنواخت، و شیب نمودار برابر سرعت است. با توجه به شکل، شیب نمودار  $5 = \frac{15}{3}$ ، یعنی  $v = 5 \text{ m/s}$  است.

ب - در لحظهٔ  $t = 0$ ،  $x = 0$  و  $x_0 = 0$  است. بنابراین:

$$x = vt + x_0 \quad \text{معادله حرکت}$$

$$x = 5t$$

$$x_1 = 5 \times 2 = 10 \text{ m} \quad \text{و} \quad x_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ m}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 25 - 10 = 15 \text{ m} \quad \text{جابه‌جایی بین دو لحظه}$$

## تمرین ۸-۲

جسمی با سرعت ثابت  $v$  بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر در لحظهٔ  $t_1 = 5s$  فاصلهٔ آن تا مبدأ  $6 \text{ m}$  و در لحظهٔ  $t_2 = 20s$  فاصلهٔ آن تا مبدأ  $36 \text{ m}$  باشد، سرعت و فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر چقدر است؟ معادلهٔ مکان - زمان را بنویسید. نمودار مکان - زمان را رسم کنید.

## ۲-۷ - نمودار سرعت - زمان

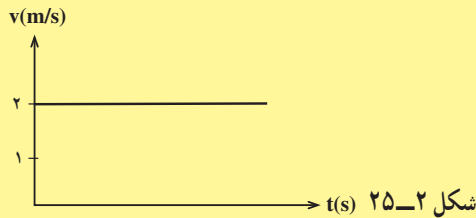
دیدیم از نمودار مکان - زمان می‌توان اطلاعاتی در مورد حرکت جسم، مثلاً سرعت یا مکان متحرک و سرعت متوسط آن به دست آورد. به همین ترتیب می‌توان از نمودار سرعت - زمان هم اطلاعاتی دربارهٔ حرکت جسم به دست آورد. برای رسم نمودار سرعت - زمان در دستگاه مختصات  $v-t$ ، محور قائم برای سرعت و محور افقی را برای زمان اختیار می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان - زمان گفته شد، این نمودار را رسم می‌کنیم.



## مثال ۲-۱۰

متحرکی با سرعت ثابت در مسیر مستقیم در حرکت است. در لحظه  $t_1 = 2s$  در فاصله ۵ متر و در لحظه  $t_2 = 12s$  در فاصله ۲۵ متری از مبدأ است. نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

$$\text{حل: در حرکت با سرعت ثابت داریم: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{25-5}{12-2} = \frac{20}{10} = 2 \text{ m/s}$$

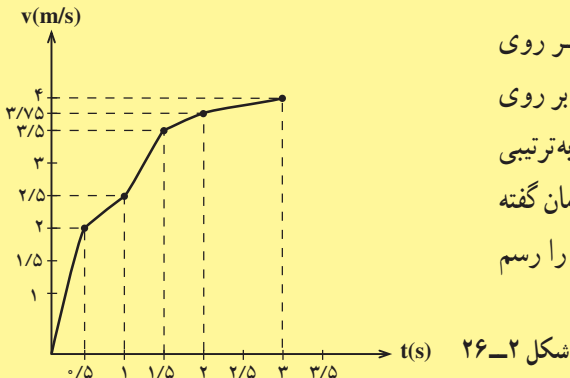


چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، نمودار سرعت - زمان به صورت یک خط راست موازی محور زمان است.

## مثال ۲-۱۱

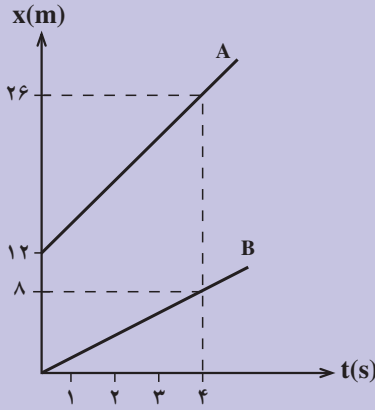
در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است در چند لحظه مشخص شده است. نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

زمان به s	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۳
سرعت به m/s	۰	۲	۲/۵	۳/۵	۳/۷۵	۴



حل: زمان‌ها را بر روی محور افقی و سرعت‌ها را بر روی محور قائم ثبت می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان - زمان گفته شد، نمودار سرعت - زمان را رسم می‌کنیم.

## تمرین ۲-۹



شکل (۲-۲۷) نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آن‌ها را حساب کنید و نمودار سرعت-زمان هر کدام را رسم و معادله حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.

شکل ۲-۲۷

## ۲-۸- شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که اتومبیل از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج اتومبیل ملاحظه می‌شود که سرعت آن به تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام ترمز کردن سرعت آن به تدریج کاهش می‌یابد. در این موارد که سرعت متحرک تغییر می‌کند می‌گوییم حرکت، شتابدار یا غیریکنواخت است. شتاب متوسط برابر نسبت تغییر سرعت به بازه زمانی است که سرعت تغییر کرده است. اگر تغییر سرعت در بازه زمانی  $\Delta t$  برابر  $\Delta v$  باشد داریم:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2-5)$$

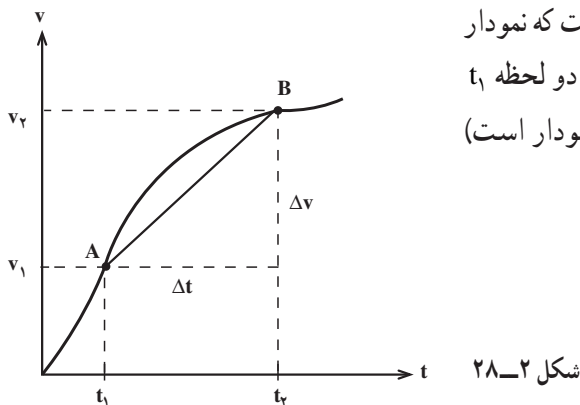
که در آن  $\bar{a}$  نماد شتاب متوسط و یکای آن متر بر مجذور ثانیه ( $m/s^2$ ) است.

## مثال ۲-۱۲

سرعت متحرکی در لحظه  $t_1 = 20\text{ s}$  برابر  $10\text{ m/s}$  و در لحظه  $t_2 = 45\text{ s}$  برابر  $20\text{ m/s}$  است. شتاب متوسط آن بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  چقدر است؟

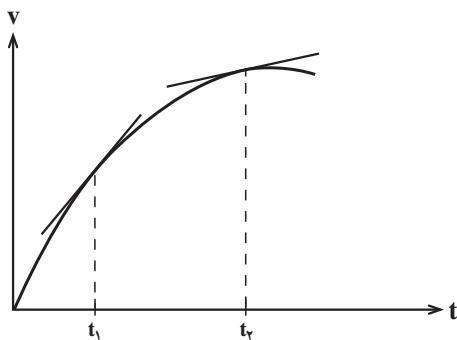
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{20 - 10}{45 - 20} = \frac{10}{25} = 0.4\text{ m/s}^2 \quad \text{حل:}$$

تعیین شتاب متوسط به کمک نمودار سرعت - زمان: در شکل (۲-۲۸) نمودار سرعت - زمان متحرکی نشان داده شده است. با توجه به تعریف شتاب متوسط معلوم می‌شود که شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب خطی است که نمودار سرعت - زمان را در آن دو لحظه (یعنی دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  که معادل دو نقطه A و B روی نمودار است) قطع کند.



شتاب لحظه‌ای: در حرکت شتابدار نیز می‌توان گفت که متحرک در هر لحظه دارای شتابی است که آن را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم و با  $a$  نشان می‌دهیم.

همان‌طور که در سرعت لحظه‌ای دیدیم در اینجا نیز اگر در رابطه  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ،  $\Delta t$  بسیار کوچک شود، شتاب متوسط خیلی نزدیک به شتاب لحظه‌ای می‌شود. در این صورت دو نقطه A و B بسیار به هم نزدیک می‌شوند و می‌توان نتیجه گرفت که شتاب لحظه‌ای برابر شیب مماس بر نمودار سرعت - زمان در آن لحظه است. در شکل (۲-۲۹) شیب مماس بر نمودار  $v-t$  در لحظه  $t_1$  برابر شتاب در لحظه  $t_1$  و شیب مماس در لحظه  $t_2$  برابر شتاب در لحظه  $t_2$  است. با توجه به این که در شکل (۲-۲۹) شیب مماس در لحظه  $t_1$  بیش‌تر از شیب مماس در لحظه  $t_2$  است، می‌توان نتیجه گرفت که شتاب در لحظه  $t_1$  بیش‌تر از شتاب در لحظه  $t_2$  است.

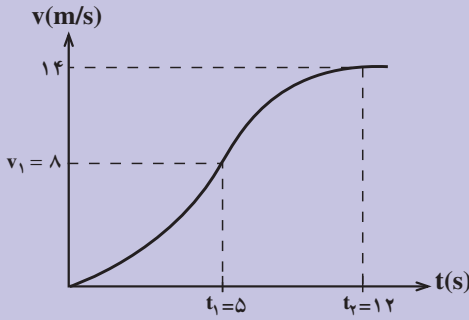


شکل ۲-۲۹

## تمرین ۱۰-۲

نمودار سرعت - زمان متحرکی مطابق شکل زیر است. با توجه به آن توضیح

دهید:



شکل ۳۰-۲

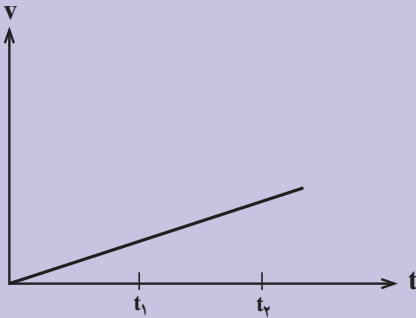
الف - در بازه‌های زمانی  $(0, t_1)$  و  $(t_1, t_2)$  شتاب متوسط چقدر است؟

ب - در کدام یک از دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  شتاب بیشتر است؟

## تمرین ۱۱-۲

الف - در حرکت یکنواخت شتاب حرکت چقدر است؟

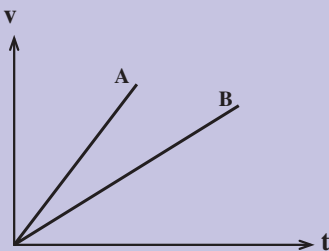
ب - شکل روبرو نمودار سرعت - زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  با هم مقایسه کنید.



شکل ۳۱-۲

## تمرین ۱۲-۲

نمودار سرعت - زمان دو متحرک A و B در شکل روبرو نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.

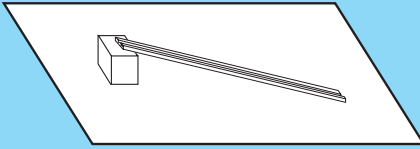


شکل ۳۲-۲

## آزمایش ۲-۱

وسایل لازم:

- ۱- تخته شیاردار یا میله‌های چوب پرده، به طول ۲ متر
- ۲- مکعب‌های تخته‌ای به ضخامت‌های ۴ cm
- ۳- گلوله‌های شیشه‌ای (تیله) یا ساچمه‌های فلزی
- ۴- زمان‌سنج (کرونومتر)
- ۵- متر نواری



شکل ۲-۳۳

روش آزمایش: یک سرمیله چوب پرده را مطابق شکل (۲-۳۳) بالای یکی از مکعب‌های تخته‌ای قرار دهید. یکی از گلوله‌های شیشه‌ای را از فاصله نیم‌متری انتهای میله که قبلاً یکی از مکعب‌ها را در آنجا قرار داده‌اید رها کنید و در این لحظه کرونومتر را به کار اندازید. (می‌توانید جلوی گلوله خط‌کشی قرار دهید و لحظه‌ای که خط‌کش را برمی‌دارید، کرونومتر را به کار اندازید). لحظه‌ای که گلوله به مکعب انتهای مسیر برخورد می‌کند، کرونومتر را متوقف کنید.

آزمایش را برای فواصل ۱ m، ۱/۵ m و ۲ m تکرار کنید و نتیجه را در جدول روبرو بنویسید.

نمودار  $x$  بر حسب  $t$  را رسم کنید. نتیجه آزمایش را تجزیه و تحلیل کنید.

ردیف	طول	زمان $t$	$t^2$	$\frac{x}{t^2}$
۱	۰/۵			
۲	۱			
۳	۱/۵			
۴	۲			

## ۹-۲- حرکت بر خط راست با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت - زمان به صورت یک خط راست است. چرا؟ در چنین حرکتی، شتاب متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با شتاب متحرک در هر لحظه برابر می‌شود یعنی

$$\bar{a} = a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (۶-۲)$$

اگر در رابطه (۶-۲)  $t_1 = 0$  و  $t_2 = t$  اختیار شود، در این صورت  $v_1$  سرعت در لحظه صفر با نماد  $v_0$  و سرعت در لحظه  $t$  با نماد  $v$  نشان داده می‌شود و می‌توان نوشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$
$$v = at + v_0 \quad (۷-۲)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت - زمان بین دو لحظه یک خط راست است. می‌توان نشان داد که در حرکت با شتاب ثابت سرعت متوسط بین دو لحظه نصف مجموع سرعت‌های آن دو لحظه است.

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (۸-۲)$$

### مثال ۱۳-۲

متحرکی از حال سکون ( $v_0 = 0$ ) با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن را در لحظه  $t_1 = 4 \text{ s}$  و  $t_2 = 12 \text{ s}$  به دست آورید و نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

حل: بنا به رابطه (۷-۲):

$$v = at + v_0$$

$$v_1 = 2 \times 4 + 0$$

$$v_1 = 8 \text{ m/s}$$

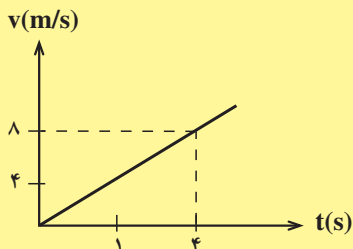
سرعت متحرک در  $t_1 = 4 \text{ s}$

$$v_2 = 2 \times 12 + 0 \Rightarrow v_2 = 24 \text{ m/s}$$

سرعت متحرک در  $t_2 = 12 \text{ s}$

چون شتاب ثابت است، نمودار سرعت - زمان یک خط راست است. بنابراین،

برای رسم آن مشخص نمودن دو نقطه از نمودار کافی است.



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۰	۸

شکل ۲-۳۴

### مثال ۲-۱۴

سرعت متحرکی در لحظه  $t_1 = 4s$  برابر  $5 \text{ m/s}$  و سرعت آن در لحظه  $t_2 = 12s$  برابر  $11 \text{ m/s}$  است، در صورتی که شتاب آن ثابت باشد، شتاب و سرعت آن را در لحظه صفر به دست آورید و نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

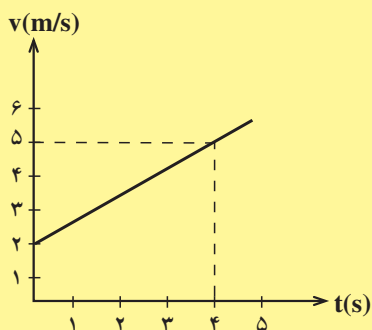
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

حل:

$$a = \frac{11 - 5}{12 - 4} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow v_0 = v - at$$

$$v_0 = 5 - \frac{3}{4} \times 4 = 2 \text{ m/s}$$



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۲	۵

شکل ۲-۳۵

۱۰-۲- معادله مکان - زمان در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست  
 بنا به رابطه‌های (۱-۲) و (۸-۲) در حرکت با شتاب ثابت

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{و از آن جا}$$

$$\Delta x = \frac{v_1 + v_2}{2} \Delta t \quad (۹-۲)$$

در این رابطه  $\Delta x$  جابه‌جایی در بازه  $\Delta t$  و  $v_1$  و  $v_2$  به ترتیب سرعت در لحظه  $t_1$  و سرعت در لحظه  $t_2$  است. اگر  $t_1 = 0$  و  $t_2 = t$  و سرعت متحرک در این لحظه‌ها به ترتیب  $v_0$  و  $v$  و مکان متحرک در این لحظه‌ها  $x_0$  و  $x$  باشد در این صورت

$$x - x_0 = \frac{v + v_0}{2} t$$

و بنا به رابطه (۷-۲)

$$x - x_0 = \frac{at + v_0 + v_0}{2} t$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (۱۰-۲)$$

این رابطه معادله مکان - زمان حرکت بر روی خط راست با شتاب ثابت است. اگر زمان را از رابطه (۷-۲) بدست آوریم و در رابطه (۱۰-۲) قرار دهیم رابطه‌ای بین مکان و سرعت، مستقل از زمان بدست می‌آید.

$$t = \frac{v - v_0}{a} \quad \text{بنابه رابطه (۷-۲)}$$

اگر در رابطه (۱۰-۲) به جای  $t$  مقدار اخیر را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{2} a \left( \frac{v - v_0}{a} \right)^2 + v_0 \left( \frac{v - v_0}{a} \right) + x_0$$

که با ساده کردن این رابطه داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (۱۱-۲)$$

## مثال ۱۵-۲

متحرکی با شتاب ثابت  $5 \text{ m/s}^2$  / از حال سکون بر روی خط راست شروع به حرکت می‌کند. پس از  $25 \text{ m}$  جابه‌جایی سرعت آن چقدر می‌شود؟



حل: بنا به رابطه (۲-۱۱) داریم:

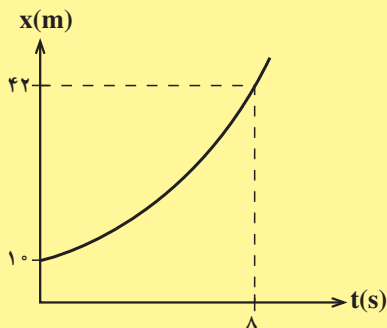
$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

$$v^2 - 0 = 2 \times 0.5(25 - 0)$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$

### مثال ۲-۱۷

شکل روبرو نمودار مکان-زمان متحرکی است که با شتاب ثابت بر روی خط راست در حرکت است. فرض کنید  $v_0 = 2 \text{ m/s}$  است نمودار سرعت - زمان را رسم کنید.



شکل ۲-۳۶

حل:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$42 = \frac{1}{2}a \times 64 + 16 + 10$$

$$32 = 64a \Rightarrow a = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

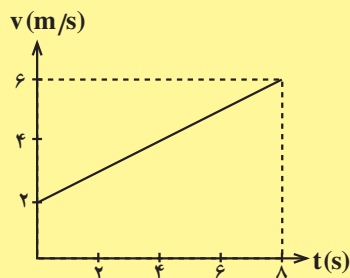
$$v = 0.5t + v_0$$

$$t = 0 \Rightarrow v_0 = 2 \text{ m/s}$$

$$t = 8 \Rightarrow v = ?$$

$$v = at + v_0$$

$$\Rightarrow v = 0.5 \times 8 + 2 = 6 \text{ m/s}$$



شکل ۲-۳۷

سقوط آزاد: سقوط آزاد نمونه طبیعی حرکت با شتاب ثابت است. در این حرکت مسیر خط راست است و در هنگام سقوط، تنها نیروی وارد به جسم، وزن آن است<sup>۱</sup>. مثل، سقوط یک جسم در

۱- بررسی کامل حرکت سقوط آزاد در فیزیک (۱) دوره‌ی پیش‌دانشگاهی انجام می‌شود. در این کتاب تنها باید ←



شکل ۲-۳۸

خلاً یا سقوط یک گلوله کوچک فلزی (ساجمه) در هوا که با تقریب خوبی می‌توان حرکت آن را سقوط آزاد فرض کرد. شکل (۲-۳۸) یک گلوله را در ضمن سقوط آزاد نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی مساوی و متوالی  $\Delta t = \frac{1}{30} \text{ s}$  از آن عکس گرفته شده است.

تجربه نشان داده است که در سقوط آزاد، شتاب برای همه اجسام یکسان است. بنابراین، معادله‌های حرکت و سرعت در سقوط آزاد همان معادله‌های حرکت با شتاب ثابت است. در سقوط آزاد نماد شتاب  $g$  است که آن را شتاب گرانش می‌نامند. بزرگی این شتاب در نزدیکی سطح زمین نزدیک به  $9.8 \text{ m/s}^2$  است. در مواردی برای سهولت محاسبه،  $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض می‌شود.

در سقوط آزاد، جابه‌جایی در امتداد قائم است مکان متحرک به‌طور معمول با  $y$  نشان داده می‌شود و مبدأ نقطه‌ای است که سقوط از آن نقطه شروع می‌شود. اگر جهت مثبت رو به پایین اختیار شود معادله حرکت سقوط آزاد به‌صورت رابطه (۲-۱۲) و معادله سرعت به‌صورت رابطه (۲-۱۳) است.

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t \quad (2-12)$$

$$v = gt + v_0 \quad (2-13)$$



شکل ۲-۳۹

→ مثال‌هایی بررسی شوند که در آن جسم از ارتفاع مشخصی و بدون سرعت اولیه رها می‌شود. ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله و پرسشی خارج از آن چه بیان شد، از هدف‌های برنامه درسی این کتاب نیست.

### مثال ۲-۱۷

یک سنگ کوچک از ارتفاع ۴/۹ متری زمین رها می‌شود.

الف - پس از چند ثانیه به زمین می‌رسد؟

ب - سرعت آن هنگام رسیدن به زمین چقدر است؟ ( $g = 9/8 \text{ m/s}^2$ )

حل: الف -  $v_0 = 0 \quad y = \frac{1}{2}gt^2$

$$4/9 = \frac{1}{2} \times 9/8 \times t^2$$

$$t^2 = \frac{9/8}{9/8} = 1 \Rightarrow t = 1 \text{ s}$$

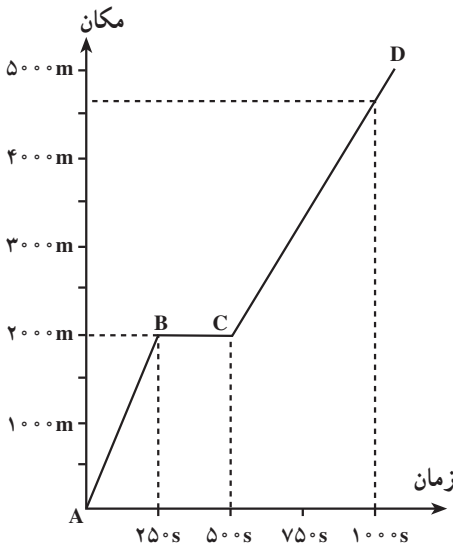
ب -  $v = gt$

$$v = 9/8 \times 1 = 9/8 \text{ m/s}$$

### تمرین ۲-۱۳

دو جسم A و B به ترتیب از ارتفاع‌های ۲۰ متری و ۴۵ متری بالای سطح زمین بدون سرعت اولیه به‌طور آزاد سقوط می‌کنند. زمان سقوط هر کدام چقدر است؟ و جسم B چند ثانیه پس از A به زمین می‌رسد و سرعت هر یک از آن‌ها در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض شود).

## تمرین‌های فصل دوم



شکل ۲-۴

- ۱- شکل ۲-۴ نمودار مکان - زمان حرکت یک دونه دوی استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.
  - الف) بین کدام دو نقطه، دونه سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟
  - ب) بین کدام دو نقطه، دونه ایستاده است؟
  - پ) سرعت دونه را بین دو نقطه‌ی A و B حساب کنید.
  - ت) سرعت دونه را بین دو نقطه‌ی C و D حساب کنید.
  - ث) سرعت متوسط دونه را در کل زمان حرکت حساب کنید.

۲- معادله حرکت جسمی که بر روی خط راست در حرکت است در SI به صورت  $x = 3t - 4$  است.

- الف - چه مدت پس از لحظه صفر متحرک به مبدأ می‌رسد؟
- ب - متحرک در لحظه  $t = 1s$  در چه فاصله‌ای از مبدأ قرار دارد و جابه‌جایی آن بین دو لحظه  $t = 1s$  و  $t = 5s$  چقدر است؟

۳- دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین منظور تپ‌های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند را به طرف ماهواره‌ی موردنظر ارسال کرده و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ  $3/0$  ثانیه طول بکشد، فاصله‌ی ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۴- راننده‌ای فاصله بین دو شهر را به ترتیب زیر می‌پیماید.  
ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط  $15m/s$  رانندگی کرده و پس از آن به مدت  $10$  دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط  $20m/s$  به مدت  $30$  دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد

و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط  $12 \text{ m/s}$  رانندگی می کند.

الف - فاصله بین دو شهر چند کیلومتر است؟

ب - سرعت متوسط او در کل مسیر چند کیلومتر بر ساعت است؟

پ - سرعت متوسط او در طول مدت رانندگی چقدر است؟

۵- الف - اتومبیلی در یک مسیر دایره‌ای شکل به شعاع  $100 \text{ m}$  دور می زند. مسافتی که

اتومبیل در نیم دور می پیماید، چند متر است؟ شکل مسیر را رسم و بردار جابه‌جایی را روی شکل مشخص کنید و بزرگی آن را به دست آورید.

ب - بزرگی جابه‌جایی اتومبیل را در یک چهارم دور حساب کنید.

ج - جابه‌جایی اتومبیل در یک دور کامل چقدر است؟

۶- سرعت یک اتومبیل در مدت  $20 \text{ s}$  بر روی یک مسیر مستقیم از  $10 \text{ m/s}$  به  $18 \text{ m/s}$

می رسد.

الف - شتاب متوسط اتومبیل در این مدت چقدر است؟

ب - اگر سرعت اتومبیل با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن به  $108$

کیلومتر بر ساعت می رسد؟

۷- سرعت فضایی  $30 \text{ s}$  پس از شروع حرکت به  $120 \text{ km/h}$  می رسد. شتاب متوسط

آن چقدر است؟ این شتاب چند برابر  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  است؟

۸- راننده اتومبیلی که با سرعت  $72 \text{ km/h}$  در حرکت است، در یک لحظه مانعی را مقابل

خود می بیند و سرعت خود را کم می کند به طوری که پس از  $8 \text{ s}$  تانیه می ایستد.

الف - شتاب متوسط حرکت از لحظه کند شدن حرکت تا توقف آن چقدر است؟

ب - اگر در مدت کند شدن حرکت اتومبیل، شتاب آن ثابت فرض شود، اتومبیل چه

مسافتی را تا لحظه توقف پیموده است؟

۹- اتومبیلی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می کند و پس از  $20 \text{ s}$  تانیه

سرعتش به  $36 \text{ km/h}$  می رسد. سپس با همین سرعت به مدت  $10 \text{ s}$  دقیقه به حرکتش ادامه می دهد. پس

از آن ترمز می کند و بعد از  $5 \text{ s}$  تانیه متوقف می شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

الف - جهت سرعت و شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب - نمودار سرعت - زمان را از لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف اتومبیل رسم کنید.

۱۰- متحرکی که بر روی خط راست با شتاب ثابت در حرکت است در فاصله  $10 \text{ m}$  متری مبدأ

سرعتش  $4 \text{ m/s}$  و در فاصله  $19$  متری مبدأ سرعتش  $18 \text{ km/h}$  است.

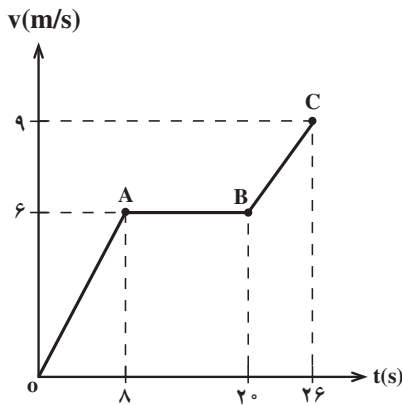
الف - شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب - پس از چه مدت از  $10^\circ$  متری مبدأ به  $19$  متری مبدأ رسیده است؟

۱۱- شکل ۲-۴۱ نمودار سرعت - زمان متحرکی را در  $26$  ثانیه نشان می‌دهد.

الف - شتاب هر یک از مرحله‌های  $OA$  و  $AB$  و  $BC$  چقدر است؟

ب - شتاب متوسط در بازه صفر تا  $26$  ثانیه چقدر است؟



شکل ۲-۴۱

۱۲- سنگ کوچکی از لبه پل بدون سرعت اولیه سقوط می‌کند و پس از  $1/5$  ثانیه به سطح آب برخورد می‌کند. ارتفاع پل از سطح آب و سرعت سنگ ریزه در موقع رسیدن به سطح آب چقدر است؟ ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  فرض شود.)

۱۳- گلوله کوچکی از بالای ساختمانی رها می‌شود. وقتی در ارتفاع  $15$  متری بالای زمین قرار دارد سرعتش  $10 \text{ m/s}$  است.

الف - سرعت سنگ در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟

ب - ارتفاع ساختمان و سرعت متوسط گلوله در مدت سقوط چقدر است؟

( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض شود.)



ماهی‌گیران در سواحل خلیج فارس

به نظر شما کشیدن تور ماهی‌گیری از پشت (مطابق شکل) آیا مزیتی نسبت به کشیدن آن از جلو دارد؟

## دینامیک

در فصل دوم با کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود و یا ممکن است، حرکت جسم شتاب‌دار باشد و در نتیجه، سرعت تغییر کند. اما از طرح و پاسخ پرسش‌هایی نظیر: در چه صورتی یک جسم ساکن می‌ماند؟ چگونه می‌توان جسم ساکنی را به حرکت درآورد؟ چه عاملی باعث تغییر سرعت جسم می‌شود؟ چه عاملی باعث تغییر در حرکت و به‌طور کلی چه عاملی باعث تغییر در وضعیت جسم می‌شود؟ و ... خودداری کردیم.

در این فصل می‌خواهیم این پرسش‌ها را طرح کرده و پاسخ آن‌ها را بیابیم. برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها، باید در ابتدا با کمیتی به نام نیرو بیش‌تر آشنا شویم.

### ۳-۱- نیرو

در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را برانیم و یا بکشیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم». برای شناخت بیشتر نیرو، بهتر است به این پرسش پاسخ دهیم که «اثر نیرو بر یک جسم چیست؟»

### فعالیت ۳-۱

در هر یک از شکل‌های (۳-۱)، اثری را که نیرو بر جسم گذاشته است، شرح

دهید.



برای برداشتن یک کتاب از قفسه کتاب‌ها، باید دست شما به آن برسد تا با وارد کردن نیرو به کتاب، بتوانید آن را بردارید. آیا ممکن است بدون آن که دست شما به کتاب برسد، به آن نیرو وارد کنید؟ برای اعمال نیروی دست بر کتاب، وجود دست و کتاب لازم است.

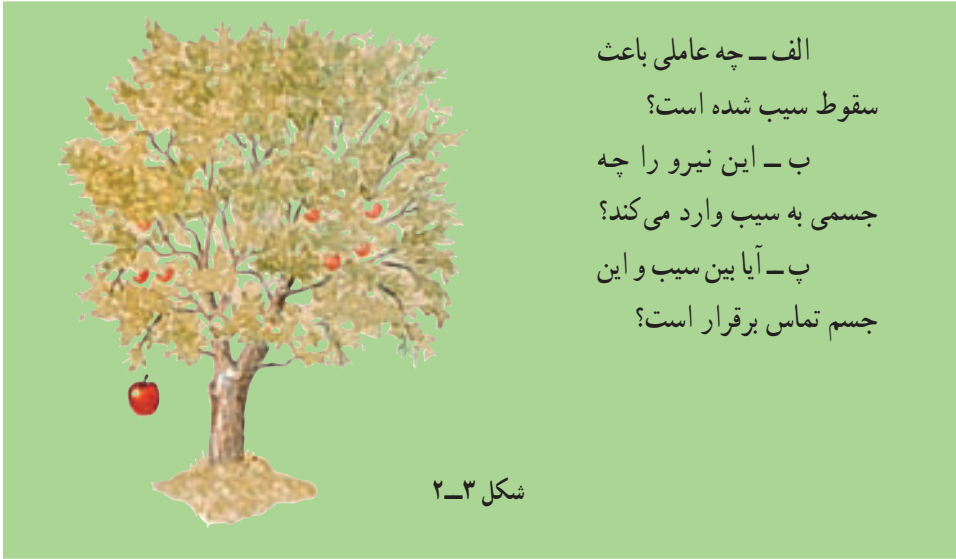


شکل ۱-۳

در بازی فوتبال، وقتی توپ به طرف شما پرتاب می‌شود، اگر توپ به پای شما یا به جسم دیگری برخورد نکند، آیا مسیر توپ تغییر می‌کند؟ برای آن که به توپ نیرو وارد شود و مسیر آن تغییر کند، وجود پا و توپ لازم است تا در تماس پا به توپ، به آن نیرو وارد شود.

### فعالیت ۲-۳

به شکل (۲-۳) نگاه کنید. این تصویر، سببی را در حال افتادن نشان می‌دهد. پاسخ پرسش‌های صفحه بعد را در کلاس به بحث بگذارید:



الف - چه عاملی باعث سقوط سیب شده است؟  
 ب - این نیرو را چه جسمی به سیب وارد می‌کند؟  
 پ - آیا بین سیب و این جسم تماس برقرار است؟

شکل ۲-۳

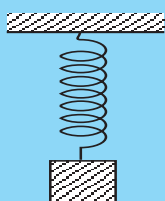
یک آهن‌ریا، از راه دور به یک قطعه آهن نیرو وارد می‌کند و آن را به سوی خود می‌کشد. خورشید، از فاصله‌ی بسیار دور، بر سیاره‌های منظومه خورشیدی نیرو وارد می‌کند. با توجه به آن‌چه که تاکنون بیان شد، می‌توان نیرو را به صورت زیر توصیف کرد:

- ۱- نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود، باعث تغییر در وضعیت حرکت آن جسم می‌شود. مثلاً از یک مکان به مکان دیگر می‌رود.
- ۲- نیرو، برهم‌کش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.
- ۳- تأثیر دو جسم بر هم، ممکن است ناشی از تماس دو جسم باشد و یا دو جسم از راه دور بر یکدیگر نیرو وارد کنند.

**نیرو چه ویژگی‌هایی دارد؟** نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد که اگر بخواهیم جسمی مثلاً یک توپ فوتبال را به فاصله‌ی نزدیکی پرتاب کنیم، باید به آن نیروی کوچکی وارد کنیم و اگر بخواهیم آن را به فاصله‌ی دورتری پرتاب کنیم، باید نیروی بزرگتری به آن وارد کنیم. مثلاً در هنگام زدن پنالتی در بازی فوتبال، برای آن که دروازه‌بان نتواند توپ را بگیرد، باید با وارد کردن نیروی بزرگتری به توپ، آن را با سرعت بیشتری به سوی دروازه شوت کنیم. از طرف دیگر برای آن که توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانه‌ی دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند. بزرگی (اندازه) نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. برای آشنایی با چگونگی کار نیروسنج آزمایش (۱-۳) را انجام دهید.

اندازه‌گیری نیرو: یکای اندازه‌گیری نیرو، نیوتون (با نماد N) نام دارد که با تعریف آن، در همین فصل آشنا می‌شوید. نیرو را به کمک تأثیری که بر یک جسم می‌گذارد، اندازه‌گیری می‌کنیم. با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می‌دانید که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنید و به سر دیگر آن نیرویی وارد کرده و آن را بکشید، طول فنر افزایش می‌یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را افزایش دهید، افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

### آزمایش ۱-۳



شکل ۳-۳

وسایل لازم: فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت، خط‌کش  
 ۱- فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.  
 ۲- وزنه‌های مختلف را به انتهای فنر آویخته و بعد از آن که دستگاه وزنه - فنر به حال سکون درآمد، طول فنر را اندازه بگیرید.  
 ۳- جدول زیر را تکمیل کنید و نتیجه آزمایش را در گروه خود تفسیر کنید و به کلاس ارائه دهید.

شماره آزمایش	طول فنر بدون وزنه	وزن وزنه آویخته به فنر W	طول فنر با وزنه	تغییر طول فنر (x)	نسبت $\frac{W}{x}$
۱					
۲					
۳					
۴					

آزمایش‌های متعدد مانند آزمایش (۱-۳) نشان می‌دهد که تغییر طول فنر، با اندازه‌گیری نیروی وارد بر آن متناسب است. اگر اندازه نیروی وارد بر فنر را با نماد F و اندازه تغییر طول فنر را با x نشان دهیم، بین آن‌ها رابطه زیر برقرار است.

$$F = kx \quad (۱-۳)$$

ضریب k در رابطه (۱-۳)، ثابت نیروی فنر نام دارد. ثابت نیروی فنر از مشخصات فنر است. در رابطه (۱-۳) نیرو برحسب نیوتون (N)، x برحسب متر (m) و k برحسب نیوتون بر متر (N/m) است.

### مثال ۱-۳

ثابت یک فنر  $250 \text{ N/m}$  و طول آن  $12 \text{ cm}$  است. فنر را از یک نقطه آویزان کرده و به انتهای آن وزنه  $50 \text{ نیوتونی}$  می‌آویزیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

$$F = kx$$

$$50 = 250 \cdot x$$

$$x = 0.2 \text{ m} = 2 \text{ cm}$$

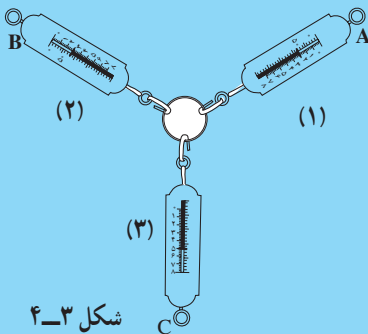
$$x = l_2 - l_1$$

$$2 = l_2 - 12$$

$$l_2 = 14 \text{ cm}$$

برای آن که مطمئن شویم که نیرو کمیتی برداری است، باید ببینیم که نیرو از جمع برداری پیروی می‌کند یا خیر؟  
برای حصول این اطمینان، آزمایش (۲-۳) را انجام دهید.

### آزمایش ۲-۳



شکل ۴-۳

وسایل لازم: نیروسنج ۳ عدد، یک قطعه چوب، یک حلقه، قلاب و میخ چند عدد  
۱- مطابق شکل (۳-۴)، دو نیروسنج را به حلقه وصل کنید و روی قطعه چوب افقی قرار دهید. سر دیگر نیروسنج (۱) را به میخی که در A کوبیده‌اید و سر دیگر نیروسنج (۲) را به میخ B وصل کنید.

۲- نیروسنج سوم را نیز به حلقه وصل کنید و آن را آن قدر بکشید تا هر سه نیروسنج به حالت کشیده درآیند. در همین وضعیت سر دیگر آن را به میخی که در قطعه چوب فرو برده‌اید (میخ C) وصل کنید.

در این حالت، نیروسنج C، با نیرویی که بر حلقه وارد می‌کند، اثر کششی دو نیروسنج دیگر را خنثی می‌کند. در نتیجه، حلقه ساکن می‌ماند.

۳- اندازه نیرویی که هر نیروسنج به حلقه وارد می‌کند را یادداشت کنید. اگر

اندازه نیروهایی که سه نیروسنج نشان می‌دهند را به ترتیب با  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  نشان دهیم، آیا  $F_3$  برابر  $F_1 + F_2$  است؟ آیا می‌توانید بین اندازه این نیروها رابطه‌ای بنویسید؟ نتیجه این آزمایش را در گروه خود تفسیر و به کلاس گزارش کنید.

### ۳-۲- قانون‌های حرکت

در بخش‌های قبل دیدیم که نیرو عامل تغییر حرکت در اجسام است. اما رابطه میان نیرو و حرکت چگونه است؟ قانون‌هایی که رابطه میان نیرو و کمیت‌های مربوط به حرکت را بیان می‌کنند، قانون‌های حرکت می‌نامیم.

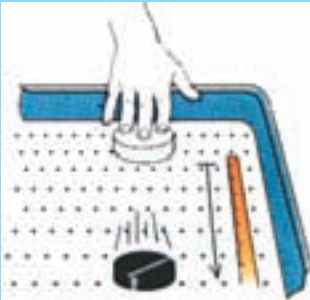
نیوتون، دانشمند انگلیسی با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود، موفق شد قانون‌های حرکت را که امروزه به نام خود او «قانون‌های نیوتون درباره حرکت» نام دارد، در کتاب اصول خود بیان کند. این قانون‌ها شامل سه قانون به شرح زیر هستند.

قانون اول نیوتون: نیوتون، قانون اول را به صورت زیر بیان کرده است:

«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی، مجبور به تغییر آن حالت شود.»

از قانون اول نیوتون نتیجه می‌شود که اگر به جسمی نیرو وارد نشود، چنانچه ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد. برای بررسی بیشتر قانون اول نیوتون آزمایش (۳-۳) را انجام دهید.

### آزمایش ۳-۳ تخت هوا



شکل ۳-۵- تخت هوا

تخت هوا وسیله‌ای است برای تحقیق درباره قانون‌های حرکت. این وسیله محفظه‌ای است به شکل مکعب مستطیل که در سطح بالایی آن تعداد بسیار زیادی روزنه ریز وجود دارد. توسط یک تلمبه، هوا با فشار وارد این محفظه می‌شود و از روزنه‌های آن خارج می‌شود. هنگام آزمایش، باید سطح آن را به صورت افقی قرار داد.

اگر قرص سبک و کوچکی را روی سطح آن قرار دهیم، هوایی که از روزنه‌ها با سرعت خارج می‌شود، قرص را روی لایه‌ی نازکی از هوا قرار می‌دهد و به این ترتیب از تماس مستقیم آن با سطح تخت هوا جلوگیری به عمل می‌آید. اگر به قرص در راستای افقی ضربه بزنیم و به آن سرعت کوچکی در راستای افقی بدهیم، مشاهده می‌شود که قرص به خط راست و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. می‌توان به کمک فیلم‌برداری درستی این ادعا را ثابت کرد.

علت آن است که نیروی اصطکاک بین قرص و لایه‌ی نازک هوای زیر آن، بسیار ناچیز است. در نتیجه وقتی قرص با یک سرعت به حرکت درمی‌آید، در ضمن حرکت در راستای افقی به آن نیرویی وارد نمی‌شود و بنابر قانون اول نیوتون، قرص به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌یابید که به آن نیرو وارد نشود؟ به همه‌ی جسم‌ها نیروی وزن وارد می‌شود. در نتیجه نمی‌توان جسمی را یافت که به آن نیرو وارد نشود تا بتوان قانون اول نیوتون را به طور کامل مورد آزمایش قرار داد.

هرگاه به جسمی که در حال حرکت است نیرویی وارد نشود (مانند جسمی که از زمین بسیار دور شود و به ماه و یا سیاره‌های دیگر نیز نزدیک نباشد) جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. این مسأله را بشر در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تقریباً آزموده است. وقتی سفینه به اندازه‌ی کافی از زمین دور می‌شود، با موتور خاموش و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. **لختی**: از قانون اول نیوتون، نتیجه می‌شود که اجسام تمایل دارند وضعیت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ کنند. به این تمایل اجسام، لختی گفته می‌شود. به همین دلیل به قانون اول نیوتون، قانون لختی نیز می‌گویند.

### فعالیت ۳-۳

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به عقب پرتاب می‌شوید. اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید، در توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می‌شوید. توضیح دهید که آیا به شما به طرف عقب و یا جلو نیرویی وارد شده که باعث پرتاب شما شده است؟

قانون دوم نیوتون: از قانون اول نیوتون استنباط می‌شود که اگر به جسم نیرو وارد شود، نه تنها جسم ساکن نمی‌ماند، بلکه حرکتش شتاب‌دار خواهد بود. رابطه میان نیروی وارد بر جسم و شتاب حرکت جسم، موضوع قانون دوم نیوتون است. معمولاً به جسم چند نیرو وارد می‌شود. قانون دوم نیوتون به صورت زیر بیان شده است:

«اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برایندهای و نیروهای وارد بر جسم، نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»

اگر جرم جسم برابر  $m$  و نیروی وارد بر آن برابر  $\vec{F}$  باشد، قانون دوم نیوتون با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2-3)$$

یکای نیرو، نیوتون (N) از رابطه (2-3) تعریف می‌شود. اگر در این رابطه، جرم برحسب کیلوگرم و شتاب برحسب متر بر مجذور ثانیه قرار داده شود، نیرو برحسب  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$  خواهد شد که آن را نیوتون می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه بدهد.»

### مثال ۲-۳

جسمی به جرم  $20\text{ kg}$  با شتاب  $1/5\text{ m/s}^2$  در حرکت است. برایندهای وارد بر جسم چند نیوتون است؟

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{حل:}$$

$$1/5 = \frac{F}{20}$$

$$F = 1/5 \times 20 = 4\text{ N}$$

### مثال ۳-۳

به هر یک از دو جرم  $m_1 = 5\text{ kg}$  و  $m_2 = 12\text{ kg}$  نیروی  $15\text{ N}$  وارد می‌کنیم. شتاب هر یک از دو جرم را حساب کنید.

حل:

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a_1 = \frac{15}{5} = 3 \text{ m/s}^2$$

$$a_1 = \frac{15}{12} = 1/25 \text{ m/s}^2$$

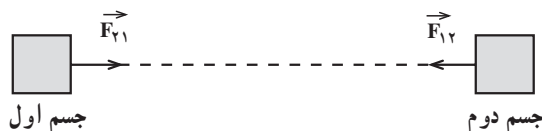
قانون سوم نیوتون: قانون اول نیوتون، وضعیت جسم را در غیاب نیرو و قانون دوم، وضعیت آن را وقتی تحت تأثیر نیرو است، توصیف می‌کند. اما این قانون‌ها، مشخص نمی‌کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می‌شود.

همان طوری که گفته شد و تجربه‌های روزانه نیز نشان می‌دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می‌کند. بازیگر فوتبال، با پا به توپ ضربه می‌زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می‌کند. شخصی که یک جسم را روی زمین می‌کشد، به آن نیرو وارد می‌کند. نیوتون با بیان قانون سوم، مشخص می‌کند که نیروی وارد بر یک جسم از طرف جسم دیگر است و علاوه بر آن معلوم می‌کند که وارد کردن نیرو، یک جنبه نیست و همواره عملی دو جانبه است. بیان قانون سوم نیوتون به صورت زیر است:

«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی برابر آن، ولی در خلاف جهت وارد می‌کند.»

اگر نیرویی که جسم اول به جسم دوم وارد می‌کند را نیروی کُش (عمل) بنامیم، نیروی جسم دوم که بر جسم اول وارد می‌شود، واکنش (عکس‌العمل) خواهد بود. در شکل (۳-۶) می‌توان نیروی  $\vec{F}_{12}$  (نیرویی که جسم اول به دوم وارد می‌کند) را کُش، و نیروی  $\vec{F}_{21}$  (نیرویی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند)، را واکنش آن نامید.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \rightarrow F_{12} = F_{21}$$



شکل ۳-۶

برای شناخت نیروهای کش و واکنش توجه کنید که: این دو نیرو همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوهای مخالف یکدیگرند.



به دو جسم وارد می‌شوند، نیروی کنش را جسم اول به دوم و نیروی واکنش را جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند.  
این دو نیرو هم‌نوع‌اند. به‌عنوان مثال یا هر دو گرانشی و یا هر دو الکتریکی‌اند.

### مثال ۳-۴

الف - نیروهای وارد بر سیبی را که در حال سقوط آزاد است، مشخص کنید.

ب - مشخص کنید که واکنش این نیروها به چه جسم‌هایی وارد می‌شوند؟

حل: به سیب در حال سقوط، تنها نیروی وزن از طرف زمین وارد می‌شود. اگر سیب را جسم ۱ و زمین را جسم ۲ بگیریم، نیروی  $\vec{F}_{21}$  را زمین به سیب وارد می‌کند. واکنش این نیرو، نیروی  $\vec{F}_{12}$  است که توسط سیب به زمین وارد می‌شود (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷

### فعالیت ۳-۴

با توجه به قانون دوم نیوتون توضیح دهید که چرا سیب در مثال (۳-۴) تحت تأثیر نیرویی که زمین به آن وارد می‌کند با شتاب  $g$  سقوط می‌کند، اما زمین تحت تأثیر نیرویی که سیب به آن وارد می‌کند، عملاً ساکن می‌ماند.

### مثال ۳-۵

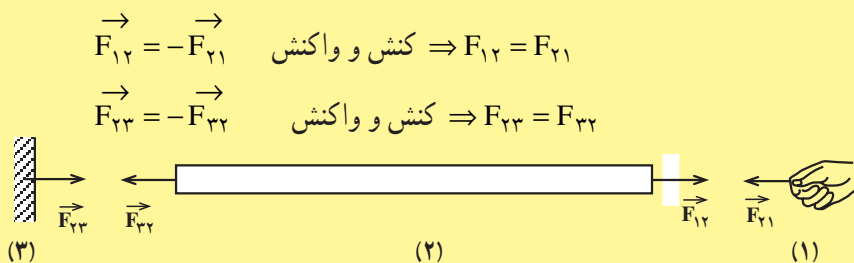
مطابق شکل (۳-۸) یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر



شکل ۳-۸

دیگرش را با دست می کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کنش و واکنش بین «دست و طناب» و «دیوار و طناب» را مشخص کنید.

حل: در قسمت های مختلف شکل (۳-۹)، نیروهای بین دست و طناب و دیوار را نشان داده ایم. در این شکل ها، دست را جسم ۱، طناب را جسم ۲ و دیوار را جسم ۳ نامیده ایم.



شکل ۳-۹

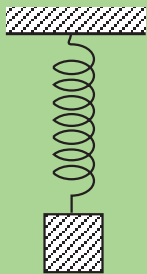
### فعالیت ۳-۵

با توجه به مثال (۳-۵) به پرسش های زیر پاسخ دهید:

الف - به کمک یکی از قانون های نیوتون پاسخ دهید که آیا نیروی  $\vec{F}_{21}$  و  $\vec{F}_{23}$  هم اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند یا خیر؟

ب - با دلیل بیان کنید که آیا دو نیروی  $\vec{F}_{21}$  و  $\vec{F}_{23}$  کنش و واکنش یکدیگراند یا خیر؟

### فعالیت ۳-۶



جسمی را به یک سرفنری وصل کرده و فنر را از سر دیگر آن آویزان کرده ایم. اگر دستگاه جسم - فنر در حال سکون باشد (شکل ۳-۱۰)،

الف - نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید.

ب - واکنش این نیروها را مشخص کنید و توضیح دهید که هر کدام به چه جسمی وارد می شوند؟

شکل ۳-۱۰

### ۳-۳- معرفی نیروها

دیدیم که نیرو عامل ایجاد شتاب و در نتیجه، عامل تغییر در سرعت جسم است. بنابراین برای بررسی حرکت یک جسم، باید نیروهای وارد بر آن را مشخص و اندازه‌گیری کنیم. برای شناخت و اندازه‌گیری یک نیرو باید عامل‌های مؤثر بر آن را معلوم کرد. این مهم، توسط قانون‌های نیرو انجام می‌شود. قانون یک نیرو، عامل‌های مؤثر در ایجاد آن نیرو را مشخص می‌کند. هر قانون نیرو، رابطه‌ای را به دست می‌دهد که به کمک آن می‌توانیم اندازهٔ نیرو را محاسبه کنیم. قانون‌های نیرو به کمک آزمایش و تجربه‌های گوناگون رابطه‌ای را به دست می‌دهند که عامل‌های مؤثر در اندازهٔ نیرو را تعیین می‌کند.

اکنون به بررسی قانون گرانش نیوتون می‌پردازیم.

**قانون گرانش نیوتون:** آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چرا آب در جویبارها به طرف پایین حرکت می‌کند؟ و یا چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کنیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟ از زمان‌های دور، بشر می‌دانست که زمین، جسم‌های مجاور خود را به سوی خود می‌کشد. به این نیرو، نیروی گرانی گفته می‌شود. نیوتون دانشمند انگلیسی با بیان قانون گرانش، نشان داد که نیروی گرانش میان هر دو جسم وجود دارد.

بنابه قانون گرانش نیوتون، هر دو جرم، همواره یکدیگر را می‌ربایند. بیان این قانون به صورت زیر است:

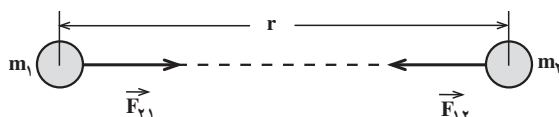
«نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر، نسبت وارون دارد.»

اگر جرم دو ذره  $m_1$  و  $m_2$  و فاصلهٔ میان آن‌ها مطابق شکل (۳-۱۱) برابر  $r$  باشد، اندازهٔ نیروی گرانشی میان دو ذره ( $F$ ) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \text{کنش و واکنش} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (3-4)$$

در این رابطه  $G$  ثابت گرانش عمومی نام دارد. در SI که یکای جرم، کیلوگرم (kg)، یکای نیرو،



شکل ۳-۱۱- کنش و واکنش

نیوتون (N) و یکای فاصله، متر (m) است، G برابر است با :

$$G = 6/67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$$

### مثال ۳-۶

دو جسم به جرم‌های ۵kg و ۱۲kg در فاصله یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آن‌ها را محاسبه کنید.

حل:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F = 6/67 \times 10^{-11} \times \frac{5 \times 12}{1}$$

$$F = 4 \times 10^{-9} \text{ N}$$

همان‌طور که محاسبه بالا نشان می‌دهد، نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم کوچک، قابل ملاحظه نیست.

### تمرین ۳-۱

جرم زمین تقریباً  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$  و شعاع زمین تقریباً  $6/4 \times 10^6 \text{ m}$  است. نیروی گرانی زمین که به شما وارد می‌شود، حدود چند نیوتون است؟ این نیرو چه نام دارد؟ برای محاسبه این نیرو، جرم زمین را متمرکز در مرکز زمین فرض کنید.

وزن – شتاب گرانی: در فصل دوم در بحث سقوط آزاد، دیدید که شتاب در حرکت سقوط آزاد، برای تمام جسم‌ها یکسان و برابر g است. نیرویی که باعث ایجاد این شتاب می‌شود را از قانون دوم نیوتون محاسبه می‌کنیم.

$$F = ma$$

$$a = g$$

$$F = mg \quad (5-3)$$

از طرف دیگر، می‌دانیم که نیروی وزن، باعث سقوط جسم می‌شود. اگر نیروی وزن را با نماد W نشان دهیم، با توجه به رابطه (۵-۳) خواهیم داشت :

$$F = W$$

$$W = mg \quad (6-3)$$

وزن یک جسم بر روی زمین، نیروی گرانی است که زمین به جسم وارد می‌کند. اگر جرم و شعاع زمین را به ترتیب با  $M_e$  و  $R_e$  نشان دهیم، با استفاده از رابطه (۴-۳) نیز می‌توان وزن جسم یعنی نیروی گرانی زمین بر جسم را حساب کرد.

$$W = F$$

$$W = G \frac{m \cdot M_e}{R_e^2} \quad (7-3)$$

با مقایسه رابطه (۶-۳) و (۷-۳) نتیجه می‌شود:

$$mg = G \frac{m \cdot M_e}{R_e^2}$$

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} \quad (8-3)$$

### تمرین ۲-۳

مقدار  $g$  را از رابطه (۸-۳) محاسبه کنید. برای این محاسبه از مقدارهای داده‌شده در تمرین ۱-۳ استفاده کنید.

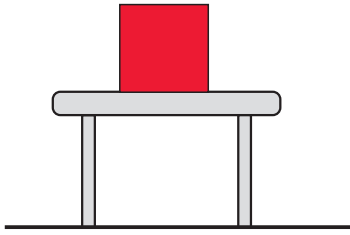
### فعالیت ۷-۳

۱- تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی،  $G$ ، نخستین بار توسط چه کسی محاسبه شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.

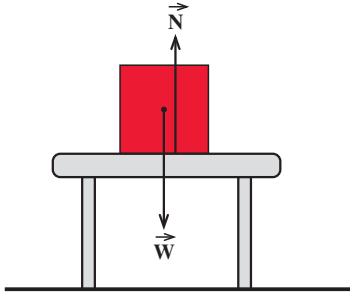
۲- شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

### تمرین ۳-۳

بعد از اندازه‌گیری  $G$ ، جرم زمین به کمک رابطه (۷-۳) محاسبه شد. با توجه به این که مقدار متوسط  $g$  در سطح زمین حدود  $9.8 \text{ m/s}^2$  و شعاع زمین حدود  $6.37 \times 10^6 \text{ m}$  است، جرم زمین را حساب کنید.



شکل ۱۲-۳



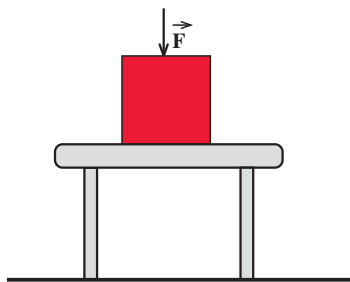
شکل ۱۳-۳

(۱۳-۳) نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده‌اند. نیروی  $N$ ، که از طرف میز بر جسم وارد می‌شود را «نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم. با استفاده از قانون دوم نیوتون، نتیجه می‌شود:

$$F = ma = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$



شکل ۱۴-۳

نیروی عمودی تکیه‌گاه: جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل (۱۲-۳) روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر  $m$  باشد، نیروی وزن  $W = mg$  را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به سوی پایین می‌کشد. چرا جسم به پایین حرکت نمی‌کند؟

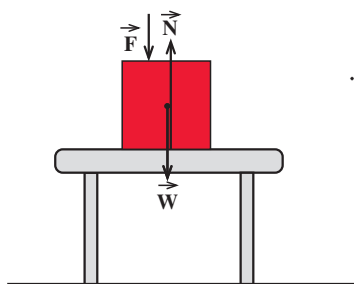
چون جسم ساکن است، شتاب حرکت آن صفر است ( $a = 0$ ). از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است ( $F = ma = 0$ ). در نتیجه، باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد شود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل (۱۲-۳) این نیرو توسط میز به جسم وارد می‌شود. در شکل

اکنون فرض کنید مطابق شکل (۱۴-۳) نیرویی به اندازه  $F$  را به‌طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنیم. آیا نیروی عمودی تکیه‌گاه که میز بر جسم وارد می‌کند، تغییر می‌کند؟ با روش مشابه قبل، می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد. نیروهای وارد بر جسم را در شکل (۱۵-۳) نشان داده‌ایم و چون شتاب جسم صفر است، بنابه قانون دوم نیوتون داریم:

$$F = ma = 0$$

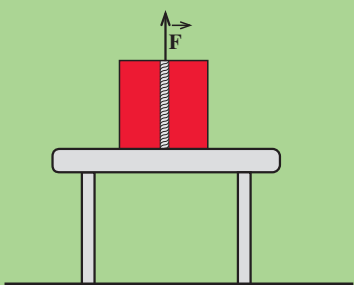
$$N - F - W = 0$$

$$N = F + W$$



بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.

شکل ۱۵-۳



شکل ۱۶-۳

### فعالیت ۸-۳

فرض کنید مطابق شکل (۱۶-۳)، طنابی را به دور یک جسم بسته و آن را با نیروی  $F$  به سوی بالا بکشیم. اگر جسم، همچنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آن را محاسبه کنید.

نیروی عمودی تکیه‌گاه، یکی از نیروهایی است که برای آن قانون نیرو نداریم، یعنی رابطه‌ای وجود ندارد تا به کمک آن بتوان اندازه این نیرو را محاسبه کرد. همان‌طور که دیدید، اندازه این نیرو را به کمک قانون دوم نیوتون، محاسبه می‌کنیم.

### فعالیت ۹-۳

روی یک ترازوی فنری بایستید و عددی را که ترازو در حالت‌های زیر نشان می‌دهد، بخوانید:

الف - ساکن روی ترازو ایستاده‌اید.

ب - ضمن آن که روی ترازو ایستاده‌اید، با دست، میزی را که در کنارتان قرار دارد، به سمت پایین فشار دهید.

پ - با دست، میز را به بالا بکشید.

مشاهده خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید.

### مثال ۷-۳

شخصی به جرم  $50 \text{ kg}$  درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که

کف آسانسور به شخص وارد می‌کند را در حالت‌های زیر محاسبه کنید:  
الف - آسانسور ساکن است.

ب - آسانسور با سرعت ثابت به طرف بالا در حرکت است.

پ - آسانسور با شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.  
g را برابر  $10 \text{ m/s}^2$  بگیرید.

حل:

الف - چون آسانسور ساکن است، شتاب حرکت صفر است. نیروهای وارد بر شخص در شکل (۱۷-۳) نشان داده شده است.

$$a = 0$$

$$F = N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

$$N = 50 \times 10 = 500 \text{ N}$$

ب - در این حالت نیز شتاب حرکت صفر است و با محاسبه‌ای مانند حالت الف نتیجه می‌شود که  $N = 500 \text{ N}$  است.

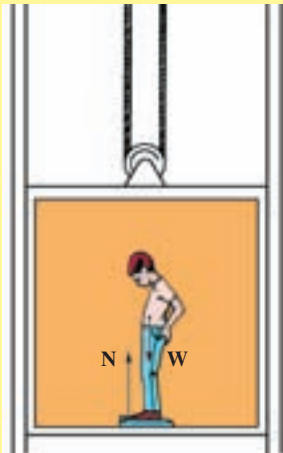
پ - در این حالت، شتاب حرکت  $2 \text{ m/s}^2$  و به طرف بالا است. با توجه به قانون دوم نیوتون، خواهیم داشت:

$$F = ma$$

$$N - W = ma$$

$$N - 500 = 50 \times 2$$

$$N = 600 \text{ N}$$



شکل ۱۷-۳

**نیروی اصطکاک:** در تجربه‌های روزانه دیده‌اید که اگر صندوق سنگینی روی سطح افقی ساکن باشد، برای به حرکت درآوردن آن باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند و یا اگر دست از کشیدن (یا هل دادن) جسم متحرک روی سطح افقی



بردارید، سرعت جسم کاهش یافته و پس از مدتی می ایستد. و یا اگر موتور اتومبیلی را که روی سطح افقی در حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون آن که ترمز گرفته شود، اتومبیل پس از مدتی می ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، در تمام موردهای یاد شده، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به جسم وارد شده باشد. این نیرو، اصطکاک نام دارد. نیروی اصطکاک را در دو حالت بررسی می کنیم:

**الف -** جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد، کشیده شده ولی، ساکن می ماند. در این حالت، نیروی اصطکاک را نیروی اصطکاک ایستایی می نامیم.

**ب -** جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد در حرکت باشد. در این حالت، نیروی اصطکاک را نیروی اصطکاک جنبشی می نامیم.

**الف - اصطکاک ایستایی:** فرض کنید جسمی مطابق شکل (۳-۱۸-الف) روی یک سطح

افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی  $\vec{F}$  را وارد می کنیم. در ابتدا اندازه این نیرو را

کوچک و برابر  $F_1$  می گیریم به طوری که جسم ساکن

بماند شکل (۳-۱۸-ب)، چون جسم ساکن است، بنا به قانون دوم نیوتون باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر

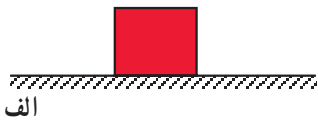
باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند  $\vec{f}_s$  به جسم وارد

شده باشد تا با خنثی کردن اثر نیروی  $\vec{F}_1$ ، مانع شتاب

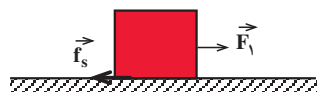
گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی  $\vec{f}_s$  را سطح

تکیه گاه به جسم وارد می کند. به این نیرو، «نیروی

اصطکاک ایستایی» می گویم.



الف



ب



پ



ت

شکل ۳-۱۸

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = 0$$

$$F_1 - f_s = 0$$

$$f_s = F_1$$

اکنون فرض کنید اندازه نیروی  $\vec{F}_1$  را افزایش داده و به  $\vec{F}_2$  برسانیم شکل (۳-۱۸-پ). اگر جسم همچنان ساکن بماند، با استدلالی شبیه بالا نتیجه می گیریم که نیروی اصطکاک

ایستایی افزایش یافته و برابر  $F_p$  شده است. بنابراین با افزایش نیروی  $\vec{F}$  نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی  $\vec{F}$  به حالتی می‌رسیم که اگر اندازه آن برابر  $F_p$  شود، جسم در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازه نیروی  $\vec{F}$  از مقدار  $F_p$  اندکی بیشتر شود، دیگر جسم ساکن نمانده و شروع به حرکت می‌کند. به نیروی اصطکاک در این حالت، «نیروی اصطکاک در آستانه حرکت» گفته می‌شود و با  $f_{s\max}$  نشان داده می‌شود شکل (۳-۱۸-ت).

از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در حالت اخیر،  $f_{s\max} = F_p$  است. از طرف دیگر، آزمایش نشان می‌دهد که اندازه نیروی اصطکاک در آستانه حرکت را می‌توان از رابطه زیر نیز به دست آورد:

$$f_{s\max} = \mu_s \cdot N \quad (۳-۹)$$

در این رابطه،  $N$  نیروی عمودی تکیه‌گاه است و  $\mu_s$  ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد.

توجه کنید که رابطه (۳-۹) فقط در حالتی درست است که جسم در آستانه حرکت باشد. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از مقدار « $\mu_s N$ » کوچکتر، و بیشینه آن برابر  $\mu_s N$  است. یعنی  $f_s \leq \mu_s N$  است.

ب- نیروی اصطکاک جنبشی: فرض کنید که صندوقی را روی یک سطح افقی هل می‌دهید، اگر دست از هل دادن صندوق بردارید، سرعت آن کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. اگر اتومبیلی را که روی یک سطح افقی در حال حرکت است ترمز کنید، پس از مدتی اتومبیل می‌ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به جسم وارد شده باشد. این نیرو اصطکاک جنبشی نام دارد.

### آزمایش ۳-۴

وسایل لازم: یک نیروسنج، دو قطعه چوبی هم جرم به شکل مکعب مستطیل، یک قطعه آهنی و یک آجر ساختمان

۱- یک قطعه چوب را مطابق شکل (۳-۱۹) روی یک سطح افقی قرار دهید و یک نیروسنج را به آن وصل کرده و نخ متصل به نیروسنج را از روی قرقره عبور داده و

کفه‌ای به آن بیاورید. اکنون وزنه‌ای در کفه قرار دهید و مقدار آن را طوری انتخاب کنید که قطعه روی میز با سرعت ثابت به حرکت درآید. لازم است که با تغییر وزنه درون کفه، در هر نوبت ضربه کوچکی به قطعه وارد کنید و این کار را تکرار کنید تا به حالت دلخواه برسید. در این حالت، عددی که نیروسنج نشان می‌دهد را در جدول زیر وارد کنید.

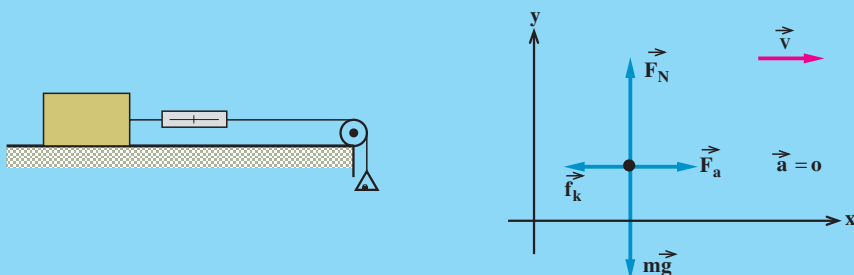
ردیف	جنس قطعه	وزن قطعه	مساحت سطح تماس قطعه با میز	عددی که نیروسنج نشان می‌دهد.
۱				
۲				
۳				

۲- آزمایش را تکرار کنید اما قطعه را از وجه‌های دیگر آن روی میز قرار دهید.

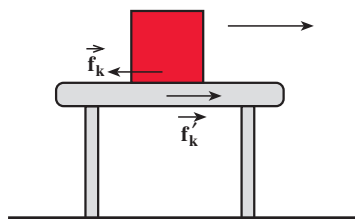
۳- آزمایش ۱ را با قطعه‌های دیگر تکرار کنید.

۴- با قرار دادن دو قطعه چوبی روی هم، آزمایش ۱ را تکرار کنید.

نتیجه آزمایش‌ها را تفسیر کنید.



شکل ۳- ۱۹



شکل ۳- ۲۰

هرگاه جسمی روی سطح جسم دیگری حرکت کند، نیرویی موازی سطح تماس به هر یک از دو جسم، از طرف جسم دیگر، وارد می‌شود که نیروی اصطکاک جنبشی نام دارد. نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر هر یک از دو جسم در جهتی است که می‌خواهد از حرکت دو جسم نسبت به یکدیگر جلوگیری کند. در شکل (۳-۲۰) نیروی اصطکاک وارد بر هر یک از دو جسم نشان داده شده است.

در شکل (۳-۲)،  $f_k$  نیرویی است که سطح میز به جسم وارد می‌کند و  $f'_k$  نیرویی است که سطح جسم به میز وارد می‌کند. این دو نیرو، کنش و واکنش اند. از آزمایش‌هایی نظیر آزمایش (۳-۴)، نتیجه می‌شود که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه است، یعنی  $f_k \propto N$  است. این نیرو به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد. ضریب این تناسب را با  $\mu_k$  نشان می‌دهند و به آن ضریب اصطکاک جنبشی می‌گویند.

$$f_k = \mu_k N \quad (۳-۱)$$

### مثال ۳-۸

جسمی به جرم  $12\text{kg}$  را توسط طنابی که به آن وصل است، روی سطح افقی می‌کشیم. اگر راستای طناب افقی و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح تماس دو جسم برابر  $0/25$  باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم چند نیوتون است؟ (g را برابر  $10\text{m/s}^2$  بگیرید).

حل: نیروهای وارد بر جسم در شکل (۳-۲۱) نشان داده شده است. چون جسم در امتداد سطح افقی حرکت می‌کند، از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برآیند نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

$$N - W = 0$$

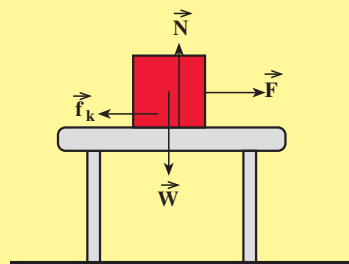
$$N = W = mg$$

$$N = 120\text{ (N)}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$f_k = 0/25 \times 120$$

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



شکل ۳-۲۱

### مثال ۳-۹

در مثال (۳-۸) اگر طناب را با نیروی  $F = 36\text{N}$  بکشیم، شتاب حرکت جسم چه قدر خواهد شد؟  
حل: از قانون دوم نیوتون برای محاسبه شتاب، استفاده می‌کنیم.

برایند نیروهای وارد بر جسم برابر است با :

$$F = 36 - 30 = 6N$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{6}{12} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

### ۳-۴ استفاده از قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت

از قانون‌های نیوتون در حل مسأله‌ها کمک می‌گیریم<sup>۱</sup>. به این ترتیب که ابتدا به کمک قانون‌های نیرو، نیروهای وارد بر جسم را محاسبه می‌کنیم. سپس به کمک قانون‌های نیوتون، شتاب حرکت جسم را به دست آورده و با استفاده از معادله‌های حرکت، مجهول‌های مسأله را محاسبه می‌کنیم. برای انجام این کار پیشنهاد می‌شود که نکته‌های زیر را رعایت کنید تا حل مسأله راحت‌تر انجام شود :

- ۱- ابتدا جسم مورد نظر را مشخص کنید.
- ۲- شکل ساده‌ای از جسم و تکیه‌گاه آن را رسم کنید.
- ۳- جسم‌هایی که به جسم مورد نظر نیرو وارد می‌کنند را شناسایی کنید.
- ۴- نیروهای وارد بر جسم را در شکلی که رسم کرده‌اید، نشان دهید. توجه کنید که نیرو را جسم‌های دیگر به جسم مورد نظر وارد می‌کنند. در این مورد حتماً باید بتوانید مشخص کنید که هر نیرو را چه جسمی وارد کرده است.
- ۵- نیروی عمودی تکیه‌گاه را محاسبه کرده و به کمک آن نیروی اصطکاک جنبشی را محاسبه کنید.

۶- برایند نیروهای وارد بر جسم را حساب کنید.

۷- با استفاده از قانون دوم نیوتون، شتاب حرکت یا مجهول دیگر مسأله را به دست آورید.

۸- معادله‌های حرکت که در حل مسأله مورد نیاز است را نوشته و مجهول مسأله را محاسبه کنید.

به مثال‌های صفحه بعد توجه کنید.

---

۱- در این کتاب تنها مسئله‌هایی بررسی می‌شوند که نیروهای وارد بر جسم در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. لذا ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله‌ای خارج از آن‌چه بیان شد، از هدف‌های برنامهٔ درسی این کتاب نیست.

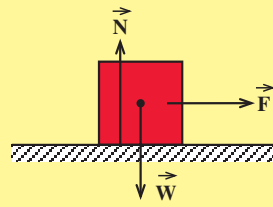
### مثال ۱۰-۳

جسمی به جرم  $5\text{kg}$  روی سطح افقی بدون اصطکاکی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی  $F = 10\text{N}$  وارد می‌کنیم. سرعت جسم را بعد از جابه‌جایی  $25\text{ m}$  حساب کنید. ( $g = 10\text{N/kg}$ )

حل: به جسم نیروهای وزن، عمودی تکیه‌گاه و نیروی افقی  $F$  وارد می‌شود. جسم در راستای قائم حرکت نمی‌کند، بنابراین برآیند نیروهای وزن و عمودی تکیه‌گاه صفر است.

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{10}{5} = 2\text{ m/s}^2$$



شکل ۳-۲۲

شتاب حرکت جسم ثابت و برابر  $2\text{ m/s}^2$  و سرعت اولیه جسم صفر است. بنابراین حرکت جسم، با شتاب ثابت روی خط راست است. با استفاده از رابطه (۲-۱۱) داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a \Delta x$$

$$v^2 - 0 = 2 \times 2 \times 25$$

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

### مثال ۱۱-۳

جسمی به جرم  $12\text{kg}$  روی یک سطح افقی قرار دارد. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و تکیه‌گاه برابر  $0.25$  است. به جسم نیروی افقی  $48\text{N}$  وارد می‌کنیم. شتاب جسم را حساب کنید. ( $g = 10\text{N/kg}$ )

حل: در شکل (۳-۲۳) نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است.

$$N = W = mg = 120\text{N}$$

$$f_k = \mu_k N$$

نیروی اصطکاک

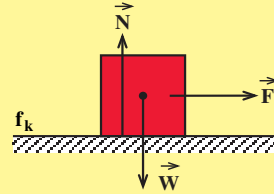
$$f_k = 0.25 \times 120 = 30 \text{ N}$$

$$F - f_k = \text{برایند نیروهای وارد بر جسم}$$

$$F - f_k = ma$$

$$48 - 30 = 12a$$

$$a = 1.5 \text{ m/s}^2$$



شکل ۲۳-۳

### مثال ۱۲-۳

جسمی به جرم  $2 \text{ kg}$  روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم بسته و طناب را با نیروی  $25 \text{ N}$  به طور قائم بالا می کشیم. شتاب حرکت جسم چه قدر می شود؟

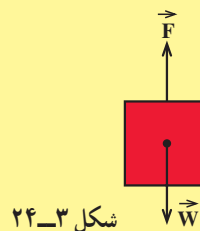
حل: به جسم در ضمن حرکت دو نیرو وارد می شود. یکی نیروی وزن و دیگری نیروی کشش طناب که برابر نیروی دست بر طناب است.

$$F - W = \text{برایند نیروهای وارد بر جسم}$$

$$F - W = ma$$

$$25 - 20 = 2a$$

$$a = 2.5 \text{ m/s}^2$$



شکل ۲۴-۳

### مثال ۱۳-۳

جسمی روی سطح افقی با نیروی افقی  $10/8 \text{ N}$  کشیده می شود. سرعت جسم در مدت  $5 \text{ s}$  با شتاب ثابت از  $4 \text{ m/s}$  به  $10 \text{ m/s}$  می رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در

مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. جرم جسم ۴ kg است.

حل: چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطه سرعت - زمان استفاده کرده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = at + v_0$$

$$10 = a \times 5 + 4$$

$$5a = 6$$

$$a = 1/2 \text{ m/s}^2$$

نیروهای وارد بر جسم، در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است.

$$N = W = 40 \text{ N}$$

$$F - f_k = \text{برایند نیروهای وارد بر جسم}$$

و آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت:

$$F - f_k = ma$$

$$10/8 - f_k = 4 \times 1/2$$

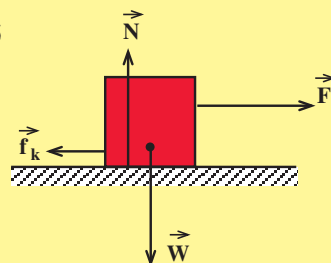
$$f_k = 6 \text{ N} \quad \text{نیروی اصطکاک جنبشی}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

$$\mu_k = \frac{6}{40}$$

$$\mu_k = 0/15$$



شکل ۳-۲۵



## تمرین‌های فصل سوم

۱- در هریک از موردهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کرده و نیروهای وارد بر آن را

نشان دهید:

الف - جسمی که در هوا در حال سقوط است.

ب - جسمی که روی یک سطح شیب‌دار به حال سکون قرار دارد.

پ - نردبانی که به دیوار صافی تکیه داده شده است.

۲- در هر یک از موردهای زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از

این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف - سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید،

ب - توپی که به دیوار برخورد می‌کند،

پ - قایقی ساکن بر آب یک دریاچه،

ت - چراغی که از یک سقف آویزان است.

۳- دو جسم به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند، تحت

تأثیر نیروهای یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان  $t$ ، سرعت آن‌ها به ترتیب برابر

$v_1$  و  $v_2$  شود، نسبت  $\frac{v_2}{v_1}$  را محاسبه کنید.

۴- آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگتر از  $g$  رو به پایین حرکت کند؟

۵- دونه‌ای به جرم  $60 \text{ kg}$  با شتاب  $5 \text{ m/s}^2$  شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب

می‌دود.

الف - نیرویی که این شتاب را به دونه می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو

از سوی چه جسمی به دونه وارد می‌شود؟

ب - واکنش نیرویی را که در قسمت «الف» محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟

۶- کمر بند نجات در اتومبیل چگونه در جاده‌ها، سرنشینان اتومبیل را از وارد شدن صدمه‌های

احتمالی حفظ می‌کند؟

۷- اتومبیلی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از

پیمودن مسافت  $100 \text{ m}$  با شتاب ثابت، سرعتش به  $20 \text{ m/s}$  می‌رسد. برابند نیروهای وارد بر اتومبیل

را در این حرکت محاسبه کنید.

۸- اتومبیلی به جرم  $1200 \text{ kg}$  با سرعت  $72 \text{ km/h}$  روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت

است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و اتومبیل پس از پیمودن مسافت  $125 \text{ m}$  می‌ایستد.

الف - شتاب حرکت اتومبیل پس از ترمز

ب - نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر اتومبیل را محاسبه کنید.

۹- اتومبیلی به جرم  $900 \text{ kg}$  در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از  $8 \text{ s}$  به سرعت  $12 \text{ m/s}$  می‌رسد.

الف - برایندهای نیروهای وارد بر اتومبیل

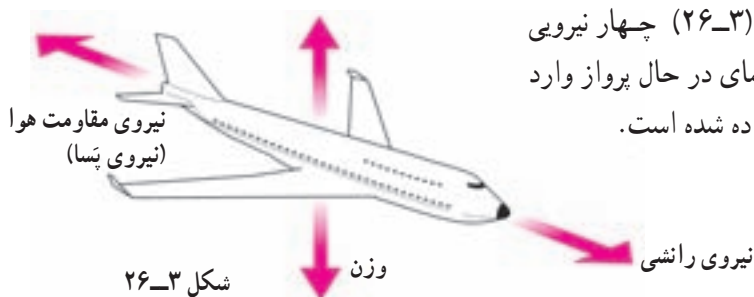
ب - نیروی رو به جلو که به اتومبیل وارد می‌شود را در صورتی که نیروی اصطکاک

جنبشی در مقابل حرکت اتومبیل  $45^\circ \text{N}$  باشد، محاسبه کنید. نیروی بالا بر

۱۰- در شکل (۳-۲۶) چهار نیرویی

که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد

می‌شود، نشان داده شده است.



بزرگی این نیروها را در موقعیت‌های زیر بیان کنید.

الف) هواپیمای در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.

ب) هواپیمای در حال شتاب‌دار شدن و ارتفاع گرفتن است.

پ) هواپیمای شتاب کاهنده دارد و ارتفاع خود را کاهش می‌دهد.

۱۱- می‌خواهیم به جسمی که جرم آن  $5 \text{ kg}$  است، شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  بدهیم. نیرویی را که باید به آن

وارد کنیم در هر یک از حالت‌های زیر محاسبه کنید:

الف - جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب - جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک  $0.2$  حرکت می‌کند.

پ - جسم در راستای قائم رو به بالا شروع به حرکت کند.

ت - جسم در راستای قائم رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۲- جسمی را با سرعت افقی  $10 \text{ m/s}$  روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک

جنبشی بین جسم و سطح برابر  $0.2$  است.

الف - جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

ب - اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول

است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟

۱۳- وزنه‌ای به جرم  $2 \text{ kg}$  را به انتهای فنری به طول  $12 \text{ cm}$  که ثابت آن  $20 \text{ N/cm}$  است

می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.  
الف - آسانسور ساکن است.

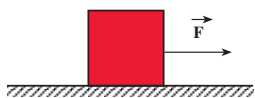
ب - آسانسور با سرعت ثابت  $2\text{m/s}$  رو به پایین در حرکت است.

پ - آسانسور با شتاب ثابت  $2\text{m/s}^2$  از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

ت - آسانسور با شتاب  $2\text{m/s}^2$  از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۴- جسمی به جرم  $5\text{kg}$  روی یک سطح افقی به حال سکون قرار

دارد (شکل ۳-۲۷). به جسم نیروی افقی  $F$  را وارد می‌کنیم.



شکل ۳-۲۷

الف - به ازای  $F = 15\text{N}$  جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک

وارد بر آن چه قدر است؟

ب - به ازای  $F = 20\text{N}$  جسم در آستانه حرکت قرار می‌گیرد و با ضربه افقی بسیار

کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از  $8\text{s}$  مسافت  $32\text{m}$  را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۵- الف - نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.

ب - نیروی گرانش ماه بر زمین چه قدر است؟

(جرم زمین  $6 \times 10^{24}\text{kg}$ ، جرم ماه  $7.4 \times 10^{22}\text{kg}$ ، فاصله ماه از زمین  $3.84 \times 10^5\text{km}$  و  $G = 6.67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$  را بگیرد).

۱۶- برای یک راننده دانستن مسافت توقف اتومبیل او اهمیت دارد. علائم بزرگراهی به ما

می‌گویند که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد (شکل ۳-۲۸):

کل مسافت توقف



شکل ۳-۲۸

کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت فکر کردن

الف) دو عامل مؤثر در مسافت فکر کردن را نام ببرید.

ب) سه عامل مؤثر در مسافت ترمز را نام ببرید.

پ) زمان واکنش راننده‌ای  $0.6\text{s}$  است. در طی این زمان، اتومبیل  $24\text{m}$  طی می‌کند. سرعت

اتومبیل را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از  $1\text{s}$  متوقف می‌شود. شتاب کاهنده

اتومبیل را حساب کنید.



### تخت جمشید — شمال شیراز

بیش از ۲۵۰۰ سال پیش، ایرانیان با ذوق و سخت‌کوش تمدنی را برپا کردند که بخشی از آثار به جای مانده آن را در این تصویر می‌بینید. این مکان به **دروازه همه کشورها** معروف بوده است.

## کار و انرژی

هنگامی که فعالیت‌های یک روز خود را در نظر می‌گیرید، مشاهده می‌کنید که کارهای متفاوتی انجام می‌دهید: راه می‌روید، از پله بالا می‌روید، می‌نویسید، کیف خود را حمل می‌کنید. با انجام این کارها انرژی جنبشی یا پتانسیل گرانشی خود و یا اجسام را کاهش و یا افزایش می‌دهید و برای انجام آن‌ها به انرژی نیاز دارید که توسط مواد غذایی تأمین می‌شود. افراد دیگر نیز به همین ترتیب فعالیت‌های گوناگون دارند. بسیاری از این کارها، توسط وسیله‌هایی چون اتومبیل، جرثقیل و ... که برای انجام فعالیت‌های خاصی طراحی شده‌اند نیز انجام می‌شوند. این وسیله‌ها از انرژی الکتریکی، شیمیایی و یا ... استفاده می‌کنند. بنابراین، ملاحظه می‌کنید که همواره در اطراف شما انجام کارهای متفاوت و تبدیل‌های مختلف انرژی در جریان‌اند. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه تا حدی با مفهوم انرژی و نوع‌های مختلف آن و تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر آشنا شدید. در این فصل با مفهوم کار، انرژی مکانیکی و توان آشنا می‌شوید و تعریف دقیق‌تری از نوع‌های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می‌شود.

### ۴-۱- کار

همه‌روزه با افرادی که در حال کار کردن هستند مواجه می‌شوید. نجار را می‌بینیم که در حال اره و یا رنده کردن است. در فعالیت‌های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محل دیگر حمل می‌کنند و ... البته بعضی از کارها توسط ماشین‌های مخصوص انجام می‌شوند. در شکل (۴-۱) تعدادی از این فعالیت‌ها نشان داده شده‌اند.

#### فعالیت ۴-۱

تعداد دیگری از کارهایی را که در اطراف خود مشاهده می‌کنید یادداشت و به کلاس گزارش کنید. در انجام این کارها چه عامل‌هایی مشترک‌اند؟ این سؤال را در گروه به بحث بگذارید.



ب



الف



پ

شکل ۱-۴

در کارهایی که انجام می‌شوند؛

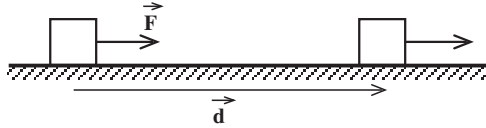
الف - به اجسام نیرو وارد می‌شود. ب - آن‌ها جابه‌جا می‌شوند.

به‌عنوان مثال، در شکل (الف-۱-۴) شخص به جسم نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل (ب-۱-۴) شخص به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. باتوجه به آنچه گفته شد کار به صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌شود. یعنی، اگر مطابق شکل (۲-۴) به جسم نیرویی به اندازه  $F$  وارد و آن را به اندازه  $d$  جابه‌جا کنیم، طبق تعریف، کار نیروی ثابت  $F$ ، با رابطه زیر داده می‌شود:

$$W_F = Fd$$

(۱-۴)

شکل ۲-۴



یکای کار N.m است که ژول نامیده می‌شود. این یکا را با نماد J نمایش می‌دهیم. کار یک کمیت نرده‌ای است و مثلاً اگر در شکل (۲-۴) کار را با چند جابه‌جایی متوالی انجام دهیم، کار کل را می‌توان از جمع جبری کار انجام‌شده در تک‌تک جابه‌جایی‌ها به دست آورد.

### مثال ۱-۴

در شکل (۱-۴) اگر شخص نیروی افقی برابر ۴N را به کالسکه وارد و آن را به اندازه ۱۰m جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟  
حل: بر طبق رابطه (۱-۴) داریم:

$$W = Fd$$

$$W = 4 \times 10 = 40 \text{ J}$$

### مثال ۲-۴

مطابق شکل (۱-۴) الف) اگر شخصی نیروی برابر ۳۰ نیوتون را به جسم وارد کند و آن را به اندازه ۵/۰ متر بالا ببرد چه مقدار کار انجام می‌دهد؟  
حل:

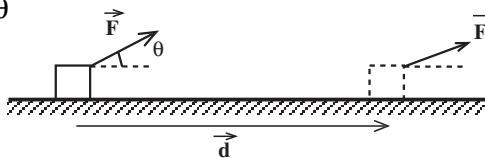
$$W = Fd$$

$$W = 30 \times 0.5 = 15 \text{ J}$$

در مثال ۲-۴ نیروی وزن نیز به جسم وارد می‌شود. این نیرو در خلاف جهت جابه‌جایی است. هم‌چنین، در شکل (۱-۴) پ) نیروی وارد به جسم، با افق زاویه می‌سازد. در این گونه موارد کار را چگونه می‌توان تعریف کرد؟ برای این منظور به صورت زیر عمل می‌کنیم. فرض کنید که نیروی وارد به جسم مطابق شکل (۳-۴) با بردار جابه‌جایی زاویه  $\theta$  می‌سازد، در این حالت کار نیروی ثابت F به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_F = Fd \cos \theta$$

(۲-۴)



شکل ۳-۴

اگر در این رابطه  $\theta = 0^\circ$  باشد، رابطه (۱-۴) به دست می‌آید.

### مثال ۳-۴

در شکل (۳-۴) نیروی ۵ نیوتونی را تحت زاویه  $6^\circ$  به جسم وارد می‌کنیم. کار نیروی  $F$  را در ۶ متر جابه‌جایی حساب کنید.  
 حل: بر طبق رابطه (۲-۴) داریم:

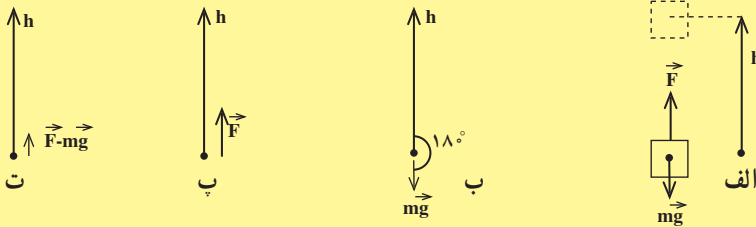
$$W_F = Fd \cos \theta$$

$$W_F = Fd \cos \theta = 5 \times 6 \times \cos 6^\circ = 15 \text{ J}$$

در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هر یک از نیروها را از رابطه (۲-۴) به دست آورد. به چند مثال در این مورد توجه کنید.

### مثال ۴-۴

جسمی به جرم  $m$  را مطابق شکل (۴-۴ الف) به اندازه  $h$  بالا می‌بریم. کار نیروی وزن چه قدر است؟



شکل ۴-۴

حل: در این حالت زاویه بین وزن و بردار جابه‌جایی  $18^\circ$  است (شکل ۴-۴ ب).  
 در نتیجه، بر طبق رابطه (۲-۴) داریم:

$$W_{mg} = mgh \cos 18^\circ$$

$$W_{mg} = -mgh$$



## مثال ۵-۴

در مثال (۴-۴)،

الف - کار نیروی  $F$

ب - کار نیروی برآیند را محاسبه کنید.

حل: الف - زاویه جابه‌جایی صفر است (شکل ۴-۴-پ) در نتیجه

کار نیروی  $F$  برابر  $Fh$  است.

ب - بزرگی برآیند نیروهای وارد بر جسم برابر  $F - mg$  است. زاویه بردار برآیند

نیروها و بردار جابه‌جایی صفر است (شکل ۴-۴-ت). در نتیجه، با استفاده از رابطه (۴-۲)

داریم:

$$W_{\text{برآیند}} = (F - mg)h \cos 0^\circ$$

$$W_{\text{برآیند}} = (F - mg)h$$

در قسمت الف مثال (۵-۴) دیدیم که کار نیروی  $F$  برابر  $Fh$  است و همان‌طور که در مثال

(۴-۴) دیدیم کار نیروی وزن برابر با  $mgh$  - است. در نتیجه، کار برآیند نیروها را می‌توان با جمع کردن

کار هر یک از نیروها نیز به دست آورد. این نتیجه برای یک مثال خاص اثبات شد ولی می‌توان نشان

داد که در حالت کلی هم برقرار است.

## تمرین ۱-۴

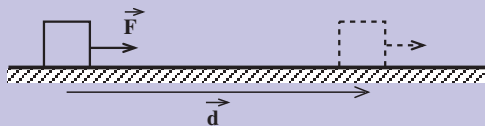
در شکل (۵-۴) نیروی ثابت  $F$  در امتداد افق به جسمی به جرم  $m$  وارد می‌شود

و آن را در روی سطحی با ضریب اصطکاک جنبشی  $\mu_k$  جابه‌جا می‌کند. مطلوب است

الف - کار نیروی  $F$  ب - کار نیروی اصطکاک جنبشی پ - کار نیروی عمودی تکیه‌گاه

ت - کار نیروی وزن ث - کار برآیند نیروها ج - نشان دهید که کار برآیند نیروها برابر

است با جمع جبری کار حاصل از تک تک نیروها.



شکل ۵-۴

### مثال ۷-۴

فرض کنید که شخص در شکل (۴-۱-الف) جسم را به بالا ببرد و همان جا نگاه دارد. او برای نگهداری جسم چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

حل: در این حالت شخص برای نگاهداشتن جسم نیرویی برابر با وزن آن به جسم وارد می‌کند. ولی چون جابه‌جایی صفر است، کار او برابر است با:

$$W = Fd = mg \times 0 = 0$$

یعنی، شخص برای نگهداری جسم کاری انجام نمی‌دهد.

### مثال ۷-۴

شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم  $m$  را مطابق شکل (۴-۶) حمل و به اندازه  $d$  جابه‌جا می‌کند. او برای حمل سطل چقدر کار انجام می‌دهد.

حل: شخص برای این که سطل را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی  $90^\circ$  است، در نتیجه:

$$W = Fd \cos \theta = mgd \cos 90^\circ = 0$$



شکل ۴-۶

یعنی شخص برای حمل سطل، با سرعت ثابت، کاری انجام نمی‌دهد.

مثال‌های (۴-۶ و ۴-۷) نشان می‌دهند کاری را که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت و گوهای عادی خود به کار می‌بریم تفاوت دارد. زیرا، در صحبت‌های روزمره فعالیت‌های ذکر شده در مثال‌های بالا را نیز کار می‌نامیم. ولی با تعریفی که برای کار ارائه کردیم، در مثال‌های یاد شده کاری انجام نمی‌شود.

## ۲-۴- قضیه کار و انرژی

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی جنبشی جسمی به جرم  $m$  و سرعت  $v$  با رابطه

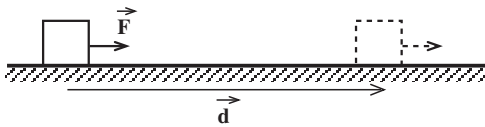
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3-4)$$

داده می‌شود. هنگامی که توپی را در امتداد قائم به هوا پرتاب می‌کنیم، سرعت توپ رفته‌رفته کاهش می‌یابد. در نتیجه، انرژی جنبشی توپ در حین بالا رفتن کاهش می‌یابد. اگر توپ را از حال سکون از یک بلندی رها کنیم، انرژی جنبشی توپ در حین پایین آمدن افزایش می‌یابد. ما روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. انرژی جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می‌یابد. هنگامی که میخی را به دیوار می‌کوبیم، در حین برخورد چکش به میخ انرژی جنبشی میخ ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

### فعالیت ۲-۴

مثال‌های دیگری که در مورد تغییر انرژی جنبشی اجسام اطراف خود می‌بینید را یادداشت و به کلاس گزارش کنید.

قضیه کار و انرژی، رابطه بین کار و تغییر انرژی جنبشی را بیان می‌کند. برای توضیح دادن این قضیه مثال زیر را در نظر می‌گیریم. جسمی به جرم  $m$  را مطابق شکل (۴-۷) در نظر بگیرید که برآیند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر  $\vec{F}$  است و جسم تحت تأثیر این نیرو به اندازه  $d$  بر روی یک سطح افقی جابه‌جا می‌شود.



کار نیروی  $F$  با رابطه زیر داده می‌شود:

$$W = Fd \quad (4-4)$$

شکل ۴-۷

از طرف دیگر چون  $F$  برآیند نیروهای وارد بر جسم است، داریم

$$F = ma \quad (5-4)$$

دائر اعمال نیروی  $F$  سرعت جسم از مقدار  $v_1$  در نقطه (۱) به مقدار  $v_2$  در نقطه (۲) تغییر می‌کند. با استفاده از رابطه (۲-۱۱) داریم:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2ad \quad (6-4)$$

اگر از این رابطه  $a$  را به دست آوریم و در رابطه (۵-۴) قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$F = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \quad (7-4)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطه (۴-۴) رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \quad (8-4)$$

جمله اول طرف راست در این رابطه انرژی جنبشی جسم در نقطه (۲) و جمله دوم انرژی جنبشی جسم در نقطه (۱) است.

در نتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به ترتیب با  $K_2$  و  $K_1$  نشان دهیم، رابطه (۸-۴) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$W = K_2 - K_1 \quad (9-4)$$

رابطه (۹-۴) قضیه کار و انرژی نامیده می‌شود. بر طبق این قضیه، کار برآیند نیروی وارد بر یک جسم در یک جابه‌جایی برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی. باتوجه به این رابطه می‌توان دریافت که انرژی جنبشی اجسام چگونه تغییر می‌کند. اگر کار برآیند نیروها مثبت باشد،  $K_2 > K_1$  است و انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد. اگر کار برآیند نیروها منفی باشد،  $K_2 < K_1$  است و انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد. اگر کار برآیند نیروها صفر باشد،  $K_2 = K_1$  است و انرژی جنبشی جسم تغییر نمی‌کند.

### فعالیت ۳-۴

باتوجه به نکات فوق علت افزایش و یا کاهش انرژی جنبشی اجسام را در مثال‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شدند توضیح دهید.  
قضیه کار و انرژی را در رویدادهایی که در اطراف خود می‌بینید به کار ببرید.

### مثال ۸-۴

جسمی به جرم ۱ کیلوگرم را از ارتفاع ۱۰ متری رها می‌کنیم. با استفاده از قضیه کار و انرژی تعیین کنید هنگامی که جسم به زمین می‌رسد، انرژی جنبشی آن چه قدر است (شتاب گرانش را  $10 \text{ m/s}^2$  فرض کنید).

حل: در این مثال تنها نیروی وارد بر جسم نیروی وزن است. کار این نیرو برابر است با:

$$W = mgh \cos(0^\circ) = 1 \times 10 \times 10 \times 1 = 100 \text{ J}$$

انرژی جنبشی اولیه آن صفر است. بر طبق قضیه کار و انرژی داریم:

$$W = K_2 - K_1$$

با قرار دادن مقادیر  $W$  و  $K_1$  در این رابطه خواهیم داشت:

$$100 = K_2 - 0$$

$$K_2 = 100 \text{ J}$$

### مثال ۹-۴

اتومبیلی به جرم  $1500 \text{ kg}$  با سرعت  $72 \text{ km/h}$  در حرکت است. اگر راننده ترمز کند، اتومبیل پس از طی مسافتی می ایستد. کار نیروی اصطکاک را به دست آورید.

حل: سرعت اتومبیل قبل از ترمز کردن برابر است با:

$$v_1 = \frac{72 \times 1000}{3600} = 20 \text{ m/s}$$

در نتیجه، انرژی جنبشی آن قبل از ترمز کردن برابر است با:

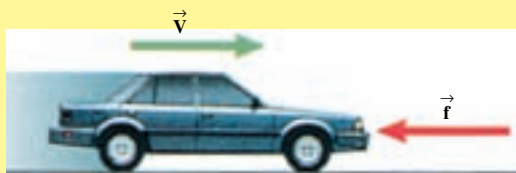
$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} (1500)(20)^2 = 300,000 \text{ J}$$

همچنین  $K_2 = 0$  است.

از طرف دیگر، نیروی اصطکاک، نیروی عمودی تکیه گاه و نیروی وزن نیروهایی هستند که بر جسم اثر می کنند. در نتیجه:

$$W = W_f + W_N + W_{mg}$$

برایند



شکل ۸-۴

ولی کار نیروی عمودی تکیه گاه و نیروی وزن برابر صفر است. در نتیجه:

$$W_f = K_2 - K_1 = 0 - 300,000 = -300,000 \text{ J}$$

از قضیه کار و انرژی می‌توان برای محاسبه کمیت‌های مختلف استفاده کرد. این امر در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

### مثال ۱۰-۴

اتومبیلی به جرم یک تن با سرعت  $36 \text{ km/h}$  در حرکت است. راننده ترمز می‌کند. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک‌های اتومبیل  $0.5$  باشد، اتومبیل پس از طی چه مسافتی متوقف می‌شود ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض می‌شود)؟  
 حل: در این مسئله نیروی اصطکاک جنبشی و نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن بر جسم وارد می‌شوند. کار نیروی اصطکاک برابر است با:

$$W_f = f d \cos \theta = \mu_k m g d \cos 180^\circ \\ = -0.5 \times 1000 \times 10 \times d = -5000d$$

و کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و وزن صفر است. سرعت اولیه جسم برابر است با:

$$v_1 = \frac{36 \times 1000}{3600} = 10 \text{ m/s}$$

در نتیجه، انرژی جنبشی اولیه جسم برابر است با:

$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} (1000)(10)^2 = 50000 \text{ J}$$

و  $K_2 = 0$  است. با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم:

$$W = K_2 - K_1 \\ -5000d = 0 - 50000$$

که از آن مقدار  $d = 10 \text{ m}$  به دست می‌آید.

### فعالیت ۴-۴

آزمایشی طراحی کنید که با استفاده از آن بتوان ضریب اصطکاک جنبشی لاستیک ماشین و جاده را تخمین زد.

### مثال ۱۱-۴

جسمی را از ارتفاع  $h$  رها می‌کنیم.

با استفاده از قضیه کار و انرژی سرعت آن را در ارتفاع  $\frac{3}{4}h$  به دست آورید.

(از مقاومت هوا صرف نظر کنید).

حل:

جسم به اندازه  $\frac{1}{4}h$  سقوط می کند. تنها نیروی وارد بر جسم وزن آن است. کار وزن در این جابه جایی برابر  $\frac{1}{4}mgh$  است. انرژی جنبشی اولیه  $K_1 = 0$  و انرژی جنبشی

$$W = K_2 - K_1 \quad \text{نهایی برابر } K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ است. در نتیجه:}$$

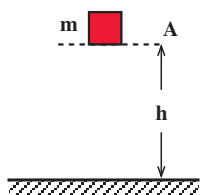
$$\frac{1}{4}mgh = \frac{1}{2}mv_2^2 - 0$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{1}{2}gh}$$

### تمرین ۲-۴

مثال (۱۱-۴) را برای ارتفاع های  $\frac{1}{4}h$  و  $\frac{1}{2}h$  و صفر نیز حل کنید و جدول زیر را تکمیل کنید (قسمت های مربوط به انرژی پتانسیل و مجموع آن با انرژی جنبشی را پس از حل تمرین (۳-۴) پر کنید).

ارتفاع	انرژی جنبشی	سرعت	انرژی پتانسیل	مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل
$h$				
$\frac{3}{4}h$				
$\frac{1}{2}h$				
$\frac{1}{4}h$				
$0$				



شکل ۹-۴

### ۳-۴- انرژی پتانسیل

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی انرژی ای است که جسم به علت ارتفاعش از سطح زمین دارد. یعنی، اگر جسم مطابق شکل (۹-۴) در ارتفاع

h از سطح زمین باشد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی است.

چگونه می توان فهمید که این جسم دارای انرژی پتانسیل گرانشی است؟

در این بخش می خواهیم این انرژی را به صورت کمی تعریف کنیم. برای بالا بردن جسم از سطح زمین تا ارتفاع h باید کار انجام دهیم. چون جسم انرژی پتانسیل گرانشی را از این طریق کسب کرده است، می توان گفت کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل در جسم ذخیره شده است. باتوجه به نکات فوق انرژی پتانسیل گرانشی به صورت زیر تعریف می شود:

«انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم در یک نقطه نسبت به زمین برابر است با کاری که انجام می دهیم تا جسم را با سرعت ثابت از سطح زمین تا نقطه یادشده منتقل کنیم».

برای این که جسم در شکل (۴-۹) را با سرعت ثابت تا ارتفاع h بالا ببریم، باید نیروی برابر با وزن جسم رو به بالا به آن وارد کنیم. در نتیجه، کار انجام شده برابر است با:

$$W = mgh \cos (0^\circ) = mgh$$

با استفاده از تعریف فوق انرژی پتانسیل گرانشی جسم در ارتفاع h را رابطه زیر داده می شود:

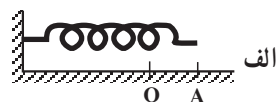
$$U = mgh \quad (4-10)$$

### تمرین ۳-۴

انرژی پتانسیل جسم در شکل (۴-۹) را در ارتفاع  $\frac{1}{3}h$ ،  $\frac{2}{3}h$  و  $\frac{1}{4}h$  و صفر به دست آورید و جدول تمرین (۴-۲) را تکمیل و نمودار تغییرات انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی و مجموع آن ها را بر حسب ارتفاع رسم کنید.

لازم به تذکر است که اگر شرط با سرعت ثابت در تعریف انرژی پتانسیل ذکر نمی شد، سرعت جسم مثلاً افزایش می یافت و مقداری از کار صرف افزایش انرژی جنبشی جسم می گردید. انرژی پتانسیل کشسانی را نیز می توان به روش فوق تعریف کرد. در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم هنگامی که فنر، مطابق شکل (۴-۱۰ الف و ب)، کشیده یا فشرده شده است دارای انرژی پتانسیل است.

چگونه می توان پی برد که در این حالت ها انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره شده است؟



شکل ۴-۱۰



در این حالت نیز می‌توان گفت کاری که با سرعت ثابت برای کشیدن فنر تا نقطه A و یا فشردن آن تا نقطه B انجام می‌دهیم، به صورت انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره می‌شود. به عبارت دیگر: انرژی پتانسیل فنر در یک وضعیت کشیده (فشرده) خاص، نسبت به حالت آزاد فنر، برابر است با کاری که انجام می‌دهیم تا آن را از حالت آزاد با سرعت ثابت به وضعیت یادشده برسانیم. لازم به تذکر است که نیروی کشسانی فنر متغیر است و مقدار آن، همان‌طور که رابطه (۳-۱) نشان می‌دهد، به مقدار کشیدگی و یا فشردگی فنر بستگی دارد. چون در این فصل فقط چگونگی محاسبه کار نیروی ثابت را بیان کرده‌ایم، از این رو محاسبه کار نیروی فنر از سطح این کتاب خارج است و در نتیجه ارایه یک رابطه کمی مانند رابطه (۴-۱) برای انرژی پتانسیل کشسانی فنر مقدور نیست. در سال‌های بعد با این رابطه آشنا خواهید شد.

### مثال ۴-۱۲

نشان دهید که هرچه فنر کشیده‌تر و یا فشرده‌تر باشد، انرژی پتانسیل آن نسبت به وضعیت آزاد فنر بیشتر است.

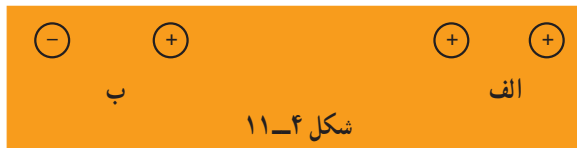
**حل:** برای کشیدن فنر باید کار انجام دهیم و این کار در فنر به صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود. برای این که فنر را بیشتر بکشیم باید کار بیشتری انجام دهیم. در نتیجه، انرژی پتانسیل آن بیشتر می‌شود.

در مورد فشردگی فنر نیز می‌توان به همین روش استدلال کرد.

### فعالیت ۴-۵

وسیله‌هایی را نام ببرید که با استفاده از انرژی پتانسیل کشسانی فنر کار می‌کنند.

اکنون به تعریف انرژی پتانسیل الکتریکی می‌پردازیم. در شکل (۴-۱۱-الف) دو بار همنام و در شکل (۴-۱۱-ب) دو بار غیرهمنام نشان داده شده‌اند. این دو بار باید به طریقی ساکن نگه‌داشته شوند. زیرا، اگر هریک از آن‌ها آزاد باشد، شروع به حرکت خواهد کرد. در نتیجه، می‌توان گفت که مجموعه دو بار دارای انرژی پتانسیل است. در این حالت نیز می‌توان گفت کاری که با سرعت ثابت



برای نزدیک کردن دوبار در شکل (۴-۱۱-الف) و دور کردن آن‌ها در شکل (۴-۱۱-ب) انجام می‌دهیم، به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در دو بار ذخیره می‌شود. در این حالت نیز می‌توان کار انجام شده را محاسبه و یک رابطه کمی برای انرژی پتانسیل الکتریکی ارایه کرد که انجام آن از سطح این کتاب خارج است.

### تمرین ۴-۴

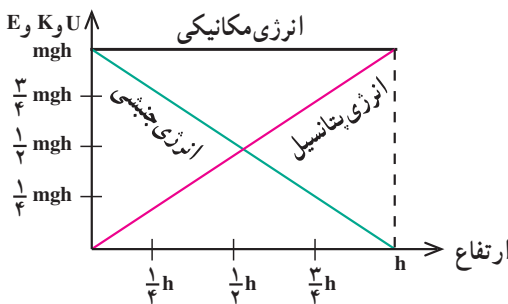
نشان دهید هر اندازه دوبار همانم به یکدیگر نزدیک تر باشند، انرژی پتانسیل آن‌ها بیشتر و هر اندازه دوبار غیرهمنام، از یکدیگر دورتر باشند، انرژی پتانسیل آن‌ها بیشتر است.

### فعالیت ۶-۴

آزمایشی طراحی کنید که در آن بتوان ذخیره‌شدن انرژی پتانسیل الکتریکی را آزمود. این آزمایش را انجام دهید و نتیجه آن را به کلاس گزارش دهید.

### ۴-۴- پایستگی انرژی مکانیکی

هنگامی که جسمی به جرم  $m$  را از ارتفاع  $h$  رها می‌کنیم، انرژی جنبشی و پتانسیل جسم در حین سقوط تغییر می‌کند. مقادیر انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل این جسم در تمرین‌های (۴-۲) و (۴-۳) به دست آمده‌اند و نمودار تغییرات آن‌ها در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مقادیر به دست آمده، در جدول مربوط به این تمرین‌ها و نیز نمودار شکل (۴-۱۲) نشان می‌دهند، در حین سقوط انرژی پتانسیل جسم کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. ولی مجموع این دو انرژی در حین حرکت پایسته (ثابت) می‌ماند.



شکل ۴-۱۲

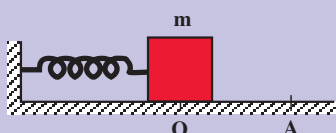
مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل انرژی مکانیکی نامیده می‌شود. این انرژی را با  $E$  نمایش می‌دهیم.

$$E = K + U \quad (۴-۱۱)$$

این مثال نشان می‌دهد که انرژی مکانیکی در سقوط آزاد یک جسم پایسته است.

هرچند پایستگی انرژی مکانیکی در مورد این مثال خاص نشان داده شد، ولی می‌توان نشان داد در مواردی که با نیروهایی مانند کشسانی فنر، نیروی الکتریکی و ... سروکار داریم نیز انرژی مکانیکی پایسته می‌ماند.

### تمرین ۵-۴



شکل ۴-۱۳

در شکل (۴-۱۳) جسمی به جرم  $m$  به فنر متصل است و روی یک سطح بدون اصطکاک قرار دارد. جسم را تا نقطه  $A$  می‌کشیم و سپس رها می‌کنیم. با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی چگونگی حرکت جرم  $m$  را توصیف کنید.

### مثال ۴-۱۳



شکل ۴-۱۴

در شکل (۴-۱۴) بار  $+q_1$  با سرعت  $\vec{v}_1$  به طرف بار  $+q_2$  که ساکن نگه‌داشته شده است پرتاب می‌شود. فرض کنید به جز نیروی الکتریکی، نیروی دیگری به بار  $q_1$  وارد نمی‌شود. چگونگی حرکت بار  $q_1$  را با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی توضیح دهید.

**حل:** با نزدیک شدن بار  $q_1$  به بار  $q_2$  انرژی پتانسیل آن‌ها افزایش می‌یابد و چون انرژی مکانیکی پایسته است، انرژی جنبشی  $q_1$  کاهش می‌یابد. هرچه  $q_1$  به  $q_2$  نزدیک‌تر می‌شود، کاهش انرژی جنبشی بیشتر می‌شود تا این‌که در نهایت در نقطه‌ای مانند  $A$  سرعت  $q_1$  صفر می‌شود و جسم برمی‌گردد. با دور شدن  $q_1$  از  $q_2$  انرژی پتانسیل آن کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد و هرچه  $q_1$  از  $q_2$  دورتر می‌شود، سرعت آن بیشتر می‌شود.

در مواردی که به جسم در حال حرکت نیروی اصطکاک جنبشی (یا نیروی اتلاف‌کننده دیگری چون مقاومت هوا) وارد می‌شود، جسم انرژی مکانیکی خود را از دست می‌دهد. انرژی از دست‌رفته به صورت انرژی درونی جسم و سطح تماس و یا محیط درمی‌آید. در این گونه موارد انرژی مکانیکی پایسته نیست.

با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی می‌توان کمیت‌های مختلف را محاسبه کرد. این امر در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

### مثال ۱۴-۴

جسمی به جرم  $0.5 \text{ kg}$  را از ارتفاع  $2 \text{ m}$  با سرعت  $10 \text{ m/s}$  به بالا پرتاب می‌کنیم. این جسم حداکثر تا چه ارتفاعی بالا می‌رود ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض و از مقاومت هوا صرف نظر شود).

حل: انرژی جنبشی جسم در نقطه پرتاب برابر است با:

$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} (0.5)(10)^2 = 25 \text{ J}$$

و انرژی پتانسیل گرانشی آن در همین نقطه برابر است با:

$$U_1 = mgh_1 = 0.5 \times 10 \times 2 = 10 \text{ J}$$

انرژی جنبشی آن در بالاترین نقطه  $K_2 = 0$  است و انرژی پتانسیل گرانشی آن در این

$$U_2 = mgh_2 = 0.5 \times 10 \times h_2 = 5h_2 \quad \text{نقطه برابر است با:}$$

$$U_1 + K_1 = U_2 + K_2 \quad \text{برطبق پایستگی انرژی مکانیکی}$$

$$10 + 25 = 5h_2 + 0 \quad \text{با جای‌گذاری مقادیر آن‌ها داریم:}$$

که با حل آن، مقدار زیر برای ارتفاع نهایی جسم به دست می‌آید:

$$h_2 = 7 \text{ m}$$

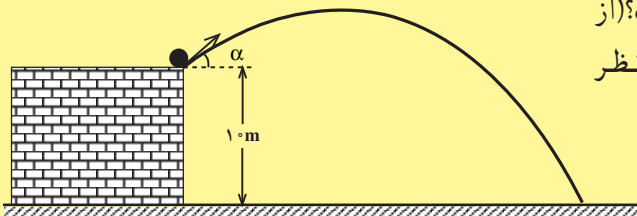
### مثال ۱۵-۴

از بالای یک بلندی به ارتفاع  $10 \text{ m}$  متر جسمی به جرم  $4 \text{ kg}$  را مطابق شکل (۴-۱۵) با سرعت  $20 \text{ m/s}$  پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم در هنگام برخورد

بازمین چه قدر است؟ (از

مقاومت هوا صرف نظر

شود).



شکل ۱۵-۴

حل: انرژی‌های جنبشی و پتانسیل گرانشی جسم در نقطه پرتاب برابرند با:

$$K_1 = \frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{1}{2} (0/4)(20)^2 = 80 \text{ J}$$

$$U_1 = mgh_1 = 0/4 \times 10 \times 10 = 40 \text{ J}$$

و نیز انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی جسم در لحظه برخورد با زمین به ترتیب

$$K_2 = \frac{1}{2} mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 0/4 \times v_2^2 = 0/2 v_2^2 \quad \text{برابرند با:}$$

$$U_2 = mgh_2 = 0/4 \times 10 \times 0 = 0$$

بر طبق پایستگی انرژی مکانیکی داریم:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

با جای‌گذاری مقادیرها داریم:

$$80 + 40 = 0/2 v_2^2 + 0$$

$$v_2 = 24/5 \text{ m/s}$$

#### ۴-۵- توان

در بخش (۴-۱) در مورد محاسبه کار انجام شده بحث شد. ولی، در مورد زمانی که این کار انجام می‌شود، صحبتی نشد. کار می‌تواند کند و یا تند انجام شود. یک جسم را می‌توانیم مثلاً در ۲ و یا ۵ ثانیه به یک ارتفاع معین برسانیم. در هر دو مورد کار انجام شده یکسان است. ولی در مورد اول کار سریع‌تر انجام شده است. برای در نظر گرفتن زمان انجام کار کمیّت مناسبی را به نام توان تعریف می‌کنیم.

فرض کنید کار  $W$  در زمان  $t$  انجام شده است. توان متوسط  $\bar{P}$  به صورت کار انجام شده در واحد زمان تعریف می‌شود و از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به دست می‌آید:

$$\bar{P} = \frac{W}{t} \quad (4-12)$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه (J/s) است که به احترام کارهای علمی جیمز وات، وات (W) نامیده می‌شود.

بر طبق این تعریف، هر اندازه کار معینی در زمان کمتری انجام شود و یا در زمان معینی کار بیشتری انجام گیرد، توان مقدار بیشتری دارد.

### مثال ۴-۱۷

چمدانی به جرم ۲۰ کیلوگرم را با سرعت ثابت به اندازه ۵/۰ متر در ۲ ثانیه بالا می‌بریم. این کار با چه توان متوسطی انجام شده است؟ (g را برابر با  $10 \text{ m/s}^2$  فرض کنید).

**حل:** ابتدا کار انجام شده را محاسبه می‌کنیم. چون سرعت ثابت است برای این کار باید نیروی برابر با mg به چمدان وارد کنیم.

$$W = mgh = 20 \times 10 \times 0.5 = 100 \text{ J}$$

$$\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{100}{2} = 50 \text{ W}$$

### فعالیت ۴-۷

از پله‌های یک ساختمان یک بار به صورت عادی و بار دیگر به سرعت بالا روید. و در هر حالت توان خود را به دست آورید.

هر وسیله‌ای مانند اتومبیل، جاروبرقی، آسانسور و ... که کاری را انجام دهد، انرژی مصرف می‌کند. برای استفاده از این وسیله‌ها باید به آن‌ها انرژی داد. این انرژی را انرژی ورودی یا مصرفی می‌نامند.

### فعالیت ۴-۸

فهرستی از وسیله‌های اطراف خود را که هر کدام کار خاصی انجام می‌دهند تهیه و مشخص کنید انرژی ورودی هریک چگونه تأمین می‌شود.

از آنجا که مقداری از این انرژی به علت اصطکاک تلف و یا صرف حرکت دادن اجزای وسیله می‌شود، کار یا انرژی مفید خروجی وسیله با انرژی ورودی آن برابر نیست. در نتیجه، فقط کسری از انرژی ورودی قابل استفاده است.

این کسر معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود و بازده نامیده می‌شود:

$$\text{بازده} = \frac{\text{کار خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \times 100$$

این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به کار یا انرژی خروجی تبدیل می‌شود.

#### مثال ۴-۱۷

در یک ساختمان، مصالح ساختمانی را با استفاده از یک موتور الکتریکی با توان متوسط یک کیلووات بالا می‌برند. اگر بازده موتور ۸۰ درصد باشد، بار ۱۰۰ کیلوگرمی را در چند ثانیه می‌توان به ارتفاع ۱۰ متری برد؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض شود).  
حل: با استفاده از رابطه بازده توان خروجی موتور برابر است با:

$$\bar{P} = 1000 \times 0.8 = 800 \text{ W}$$

$$W = mgh = 100 \times 10 \times 10 = 10000 \text{ J}$$

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

$$800 = \frac{10000}{t}$$

$$t = 12.5 \text{ s}$$

## تمرین‌های فصل چهارم

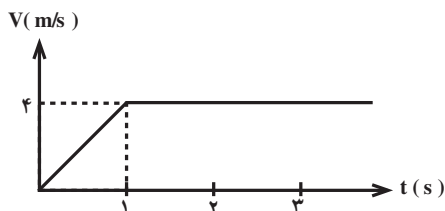
۱- شخصی به جرم  $50$  کیلوگرم در داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور  $5$  متر بالا می‌رود. در هریک از موارد زیر کار هریک از نیروهای وارد بر شخص و کار نیروی برآیند وارد بر او را حساب کنید.

الف - آسانسور با سرعت ثابت بالا می‌رود.

ب - آسانسور با شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  بالا می‌رود.

۲- در تمرین ۱ کار برآیند نیروها را با استفاده از قضیه کار و انرژی به دست آورید.

۳- نمودار سرعت - زمان متحرکی به جرم  $5 \text{ kg}$  در شکل ۴-۱۶ داده شده است. کار نیروی برآیند را (الف) به طور مستقیم (ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی برای این متحرک حساب کنید.



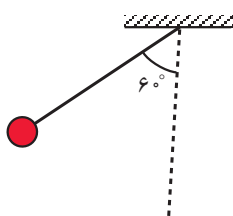
شکل ۴-۱۶

۴- گلوله‌ای به جرم  $24$  گرم با سرعت  $50 \text{ m/s}$  وارد تنه درختی می‌شود. اگر گلوله به اندازه  $12 \text{ cm}$  در تنه درخت فرو رود، نیروی متوسطی که تنه به آن وارد می‌کند چند نیوتون است؟

۵- اتومبیلی به جرم یک تن با سرعت  $72 \text{ km/h}$  در حرکت است. راننده اتومبیل ناگهان مانعی را در  $30$  متری خود می‌بیند و ترمز می‌کند. اگر ضریب اصطکاک بین لاستیک اتومبیل و جاده  $5\%$  باشد، آیا اتومبیل به مانع برخورد می‌کند؟

این تمرین را یک بار با استفاده از قضیه کار و انرژی و بار دیگر با استفاده از معادله‌های فصل حرکت‌شناسی و دینامیک حل کنید.

۶- آونگی به جرم  $m$  و طول  $l$  را مطابق شکل (۴-۱۷) به اندازه  $60^\circ$  از وضعیت قائم منحرف



شکل ۴-۱۷

و از حال سکون رها می‌کنیم.

الف - سرعت آونگ هنگامی که از وضعیت قائم می‌گذرد

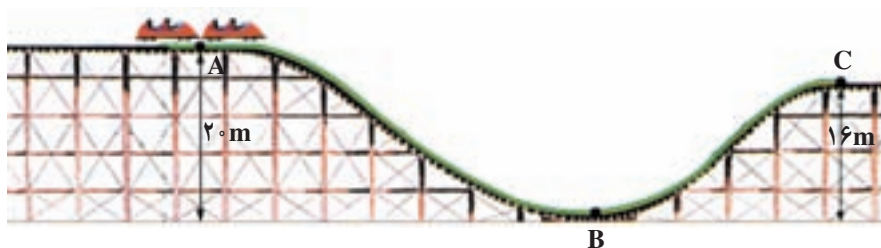
چقدر است؟

ب - آونگ تا چه ارتفاعی بالا می‌رود؟

(از مقاومت هوا صرف نظر کنید.)

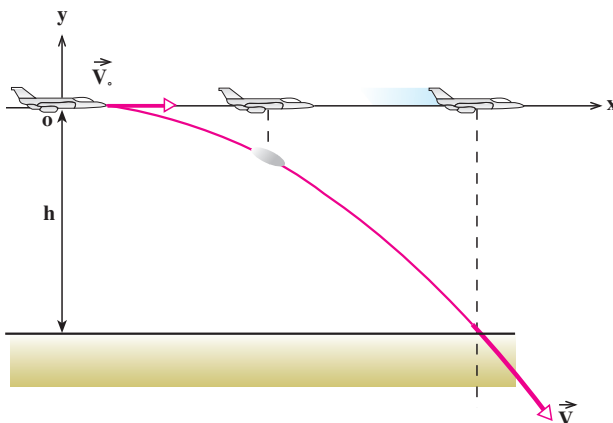


۷- در شکل (۱۸-۴) یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف نظر کنید.



شکل ۱۸-۴

۸- در شکل (۱۹-۴) هواپیمای بمب افکنی که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت  $900 \text{ km/h}$  به طور افقی پرواز می کند بمب خود را رها می کند. سرعت بمب در هنگام برخورد به زمین چه قدر است؟ (از مقاومت هوا صرف نظر کنید.)



شکل ۱۹-۴

۹- شخصی به جرم  $70 \text{ kg}$ ، پله را در زمان یک دقیقه طی می کند. توان متوسط او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را  $30 \text{ cm}$  متر فرض کنید.

۱۰- آسانسوری با سرعت ثابت  $10 \text{ m/s}$  نفر مسافر را در  $3$  دقیقه تا ارتفاع  $80 \text{ m}$  متر بالا می برد. اگر جرم متوسط هر مسافر  $80 \text{ kg}$  و جرم آسانسور  $1000 \text{ kg}$  باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟



### قلم‌زنی در ایران

تغییر حالت قیر از مایع به جامد و از جامد به مایع، به صنعتگران قلم‌زن کمک می‌کند تا بدون سوراخ‌شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

## ویژگی‌های ماده

هنگامی که رفتار ماده را در حالت‌های گاز، مایع و جامد مورد بررسی قرار می‌دهیم، سؤال‌های زیادی مشابه سؤال‌های زیر برای ما مطرح می‌شوند:

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره آبی که از شیر جدا می‌شود، در حین سقوط نیز قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد، ولی مایع‌ها را نمی‌توان به آسانی متراکم کرد؟



شکل ۵-۱- مراحل سقوط یک قطره شیر و برخورد آن به سطح این مایع در لحظه‌های مختلف عکس‌برداری شده است. در عکس‌برداری از رنگ‌های متفاوت نور استفاده شده است.

این مشاهده‌ها و بسیاری پدیده‌های دیگر را، که در این فصل با آن‌ها آشنا خواهید شد، می‌توان با توجه به نیروهای بین مولکول‌ها و چگونگی حرکت مولکول‌ها در داخل ماده توضیح داد.

## ۱-۵ حالت‌های مختلف ماده

می‌دانیم که مولکول‌ها کوچک‌ترین جزء سازنده ماده‌اند<sup>۱</sup>. اندازه اتم‌ها در حدود یک انگستروم ( $10^{-10} \text{ m}$ ) است. اندازه مولکول‌ها بستگی به این امر دارد که از چند اتم تشکیل شده است. در فعالیت زیر می‌توانید اندازه یک مولکول روغن را برآورد کنید.

### فعالیت ۱-۵

یک قطره روغن را روی سطح آب بچکانید. قطره روغن روی سطح آب گسترش می‌یابد. هرچه سطح آب وسیع‌تر باشد، گسترش روغن بیش‌تر است. این گسترش آن قدر ادامه می‌یابد تا در روی سطح آب لایه‌نازکی که ضخامت آن در حدود اندازه یک مولکول است تشکیل شود. با اندازه‌گیری تقریبی مساحت روغن در روی سطح آب و نیز اندازه‌گیری حجم قطره (در فصل ۱ روشی برای اندازه‌گیری آن داده شده است) می‌توانید ضخامت لایه را برآورد کنید. ضخامت لایه برآوردی از اندازه مولکول روغن است.

ماده‌ها در حالت (فاز)های گاز، مایع و جامد یافت می‌شوند. اکنون به بررسی این حالت‌ها می‌پردازیم.

**الف - گاز:** در حالت گازی مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت می‌کنند و با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می‌کنند. فاصله مولکول‌ها در حالت گاز در حدود چند ده برابر فاصله آن‌ها در مایع و جامد است. ویژگی‌هایی را که در بالا شرح دادیم می‌توان تا حدودی با انجام فعالیت‌ها و مشاهده‌های زیر دریافت.

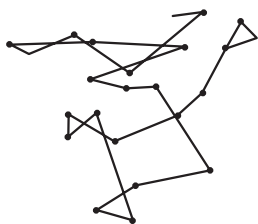
### فعالیت ۲-۵

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی را ببندید و سعی کنید آن را متراکم کنید. سپس آن را پر از آب کنید و دوباره سعی کنید آن را متراکم کنید. در کدام حالت متراکم کردن ظرف مشکل‌تر است؟

۱- در مواردی نیز که کوچک‌ترین جزء سازنده ماده اتم است برای سادگی از واژه مولکول برای این جزء استفاده

از این فعالیت می‌توان دریافت که فاصله مولکول‌ها در حالت گاز بیش‌تر از فاصله آن‌ها در حالت مایع است.

وقتی یک گل خوشبو را وارد اتاق می‌کنید و یا این‌که در یک شیشه عطر را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش آن‌ها را می‌توانید در تمام اتاق حس کنید. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که وقتی مولکول هوا به مولکول عطر برخورد می‌کند، مسیر حرکت آن را تغییر می‌دهد. مولکول عطر پس از این برخورد به حرکت خود در امتداد یک خط مستقیم ادامه می‌دهد. برخورد بعدی با یک مولکول دیگر



شکل ۲-۵

هوا مجدداً مسیر مولکول عطر را تغییر می‌دهد، در نتیجه، مولکول‌های عطر مطابق شکل (۲-۵) در مسیر خط شکسته حرکت می‌کنند. به این ترتیب مولکول‌های عطر در اثر برخورد با مولکول‌های هوا به قسمت‌های مختلف اتاق منتقل می‌شوند. این پدیده، پخش مولکول‌های عطر در اتاق نامیده می‌شود. از این مشاهده می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر برخورد می‌کنند.

**ب- مایع:** فاصله مولکول‌ها در مایع در مقایسه با گاز بسیار کم است (در حدود  $10^{-10}$  m). در مایع مولکول‌ها به اطراف خود حرکت می‌کنند و به سهولت روی هم می‌لغزند.

### فعالیت ۳-۵

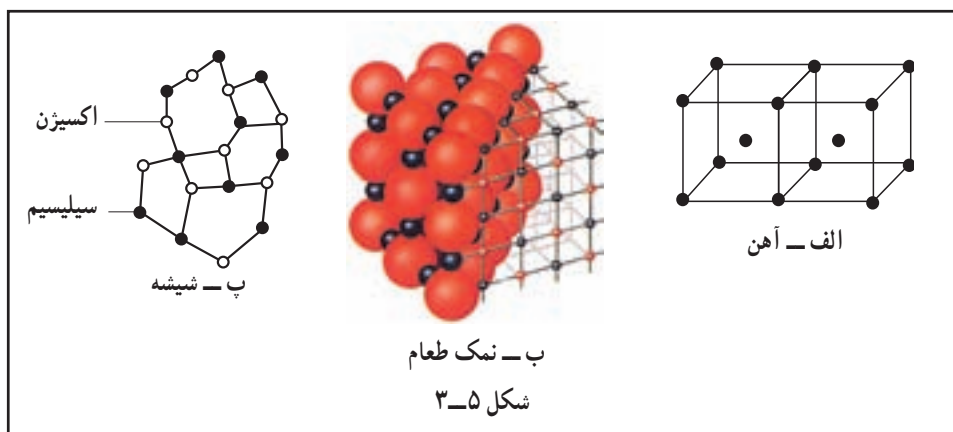
یک قطره جوهر را در داخل آب بریزید. مدتی صبر کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ این مشاهده کدام ویژگی مایع را که در بالا شرح داده شد نشان می‌دهد؟

### فعالیت ۴-۵

هنگامی که لیوانی را که پر از آب است کج می‌کنیم، آب به راحتی از آن می‌ریزد. این پدیده کدام یک از ویژگی‌های مایع را که در بالا ذکر شد نشان می‌دهد؟

**پ- جامد:** در جامد فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آن‌ها در مایع است (یعنی، در حدود  $10^{-10}$  m). آن‌ها نمی‌توانند، مانند وضعیتی که در حالت‌های مایع و گاز دارند، آزادانه به اطراف حرکت کنند. بلکه، در جامد در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط می‌توانند در اطراف این مکان‌ها حرکت‌های نوسانی (رفت و برگشتی) بسیار کوچکی انجام دهند.

در جامدهای بلورین مولکول‌ها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های (۵-۳ الف و ب) در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و جامدهای بلورین از تکرار این طرح‌ها حاصل می‌شوند. فلزها و بیشتر سنگ‌ها مانند نمک طعام و الماس جامدهای بلورین هستند.



جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این صورت مولکول‌ها فرصت دارند که در طرح منظمی خود را مرتب کنند. در جامدهای بی‌شکل مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها، مانند شکل (۵-۳ پ) در طرح منظمی در کنار یکدیگر قرار ندارند. این جامدها، معمولاً از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. با این عمل مولکول‌ها فرصت کافی پیدا نمی‌کنند که خود را در طرح منظمی مرتب کنند. در نتیجه، تا حدود زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. دیدیم که فاصله مولکول‌ها در گاز بسیار بیشتر از فاصله آن‌ها در جامد و مایع است. با معرفی کمیت بسیار مهمی به نام چگالی می‌توان درستی این امر را تحقیق کرد.

## ۵-۲- چگالی

ما در زندگی روزمره با جامدها، مایع‌ها و گازهای مختلف سروکار داریم. ممکن است بخواهیم جرم آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم و ببینیم مثلاً در میان مایع‌ها جرم یک حجم معین از کدام مایع بیشتر از دیگری است. برای پاسخ دادن به این سؤال لازم است به آزمایش (۵-۱) توجه کنید:

## آزمایش ۵-۱

وسایل و مواد لازم: یک لیوان، مایع‌های مختلف مانند: آب، الکل صنعتی، روغن، مایع ظرف‌شویی، ... و ترازو  
یک لیوان اختیار کنید و حجم داخلی آن را اندازه‌گیری کنید. سپس در آن مایع‌های مختلف بریزید و جرم آن‌ها را اندازه‌گیری و جدول زیر را تکمیل کنید.

مایع	حجم (V) m <sup>۳</sup>	جرم (m) kg	m/V kg/m <sup>۳</sup>
آب			
الکل صنعتی			
مایع ظرف‌شویی			
روغن			

نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

جرم یکای حجم از هر جسم، چگالی آن نامیده می‌شود و چگالی را با نماد  $\rho$  نمایش می‌دهیم. اگر جرم جسم  $m$  و حجم آن  $V$  باشد، چگالی آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۵)$$

یکای چگالی  $\text{kg/m}^3$  است. در آزمایش (۱-۵) با تقسیم کردن جرم هر مایع به حجم آن چگالی آن مایع را به دست آورده‌اید. چگالی مواد مختلف در سه حالت جامد، مایع و گاز در جدول (۱-۵) آمده است.

چگالی آب را که در آزمایش (۱-۵) به دست آمده است با آنچه که در جدول (۱-۵) برای آب ذکر شده مقایسه و در صورتی که تفاوتی مشاهده می‌کنید علت‌های ممکن را بیان کنید.

## فعالیت ۵-۵

در روی بعضی اجناس (مانند روغن، شامپو، مایع ظرف‌شویی و ...) جرم یا حجم آن‌ها نوشته شده است. چگالی آن‌ها را اندازه‌گیری کنید.

## فعالیت ۵-۶

چگالی یک جامد، مانند قاشق، کارد و ... را به دست آورید.  
برای اندازه‌گیری حجم آن‌ها می‌توانید از یک استوانه مدرج حاوی آب استفاده کنید. با انداختن این اجسام در این استوانه حجم آب به اندازه حجم جسم افزایش می‌یابد.

جدول ۵-۱- چگالی برخی مواد

چگالی (kg/m <sup>۳</sup> )	گازها	چگالی (kg/m <sup>۳</sup> )	مایع‌ها	چگالی (kg/m <sup>۳</sup> )	جامدها
۲	دی‌اکسید کربن	۱۳۶۰۰	جیوه	۲۱۴۰۰	پلاتین
۱/۴۳	اکسیژن	۱۰۰۰	آب (۴°C)	۱۹۳۰۰	طلا
۱/۲۹	هوا	۸۰۰ - ۹۵۰	نفت	۱۱۳۰۰	سرب
۰/۱۸	هلیوم	۹۲۰	هوای مایع (-۱۹۴°C)	۱۰۵۰۰	نقره
۰/۰۹	هیدروژن	۸۱۰	ازت مایع (-۱۹۶°C)	۸۹۳۰	مس
		۷۹۰	الکل (اتانول)	۷۸۰۰	آهن (فولاد)
		۱۲۵	هلیوم مایع (-۲۶۹°C)	۶۹۰۰	روی
				۲۵۰ - ۱۰۰۰	چوب
				۲۷۰۰	آلومینیوم
				۹۲۰	یخ

\* در مواردی که دما ذکر نشده است، چگالی مربوط به دمای °C است.

## فعالیت ۵-۷

از مقایسه چگالی هوا در حالت‌های گاز و مایع و نیز هلیوم در این دو حالت چه نتیجه‌ای می‌توان در مورد فاصله مولکول‌ها در حالت‌های گاز و مایع به دست آورد؟



یکی از موارد استفاده از چگالی این است که می‌توان با استفاده از آن با داشتن هریک از دو کمیت جرم یا حجم دیگری را محاسبه کرد.

### مثال ۵-۱

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

حل: با استفاده از جدول (۵-۱) چگالی آب  $1000 \text{ kg/m}^3$  است. یک لیتر

برابر با  $10^{-3} \text{ m}^3$  است. در نتیجه:

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

$$1000 = \frac{m}{10^{-3}}$$

که از آن مقدار  $m = 1 \text{ kg}$  به دست می‌آید.

### فعالیت ۵-۸

اگر برای اندازه‌گیری جرم جسمی وزنه در اختیار نداشته باشید، چگونه می‌توانید جرم آن را تعیین کنید؟

### فعالیت ۵-۹

حجم داخل یک سطل را با روش‌های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

### ۵-۳- نیروهای چسبندگی

اگر به یک قطره آب که از شیر می‌چکد توجه کنیم، می‌بینیم که قطره پس از جدا شدن از شیر در تمام طول مسیر به صورت قطره باقی می‌ماند. مولکول‌های این قطره در حین سقوط از یکدیگر دور نمی‌شوند و متصل به یکدیگر باقی می‌مانند. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که بین مولکول‌های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که نیروی چسبندگی نامیده می‌شود. این نیرو مولکول‌های مایع را در قطره متصل به یکدیگر نگاه می‌دارد. تأثیر این نیرو را می‌توان در پدیده‌های مختلف مشاهده کرد. اکنون ممکن است این سؤال مطرح شود که چرا این نیروی ربایشی باعث نمی‌شود که مولکول‌ها

درهم فرو روند. برای توضیح دادن این امر می توان گفت که وقتی مولکول‌ها به هم بسیار نزدیک می شوند یک نیروی رانشی قوی بین آن‌ها ایجاد می شود که از نزدیک شدن بیش تر آن‌ها جلوگیری می کند. در واقع، این که ظرف حاوی آب در فعالیت (۵-۲) را به آسانی نمی توان متراکم کرد حاکی از این است که با متراکم کردن اندک ظرف، مولکول‌های آن، آن قدر به یکدیگر نزدیک می شوند که نیروی رانشی قوی که در بالا به آن اشاره شد بین مولکول‌ها ایجاد شود. این نیرو مانع متراکم کردن بیش تر آب می شود. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایع‌ها را تقریباً تراکم ناپذیر می کند. در نتیجه، با توجه به نکات بالا می توان گفت که در فاصله‌های خیلی کوتاه (در مقایسه با فاصله بین مولکول‌ها در حالت مایع) نیروی بین مولکولی رانشی است و در فاصله‌های بیشتر این نیرو ربایشی است. نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند. یعنی، وقتی فاصله مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی می شود نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر می شوند.

## فعالیت ۵-۱۰

با توجه به مطالبی که در بالا درمورد نیروهای بین مولکولی بیان شد، توضیح دهید چرا مولکول‌های عطر در شکل (۵-۲) ناگهان تغییر مسیر می دهند؟

## ۵-۴- کشش سطحی

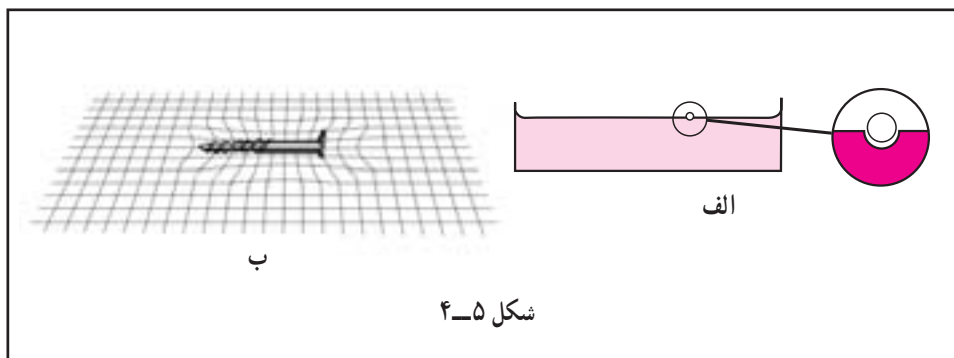
دیدیم که تشکیل قطره آب وجود نیروهای چسبندگی را نشان می دهد. ولی پدیده‌های دیگری نیز وجود دارند که به کمک آن‌ها می توان به وجود نیروهای چسبندگی پی برد. یکی از این پدیده‌ها اثر کشش سطحی است که اکنون به توصیف آن می پردازیم.

## آزمایش ۵-۲

وسایل لازم: سوزن، دستمال کاغذی و یک ظرف آب  
سوزن را بر روی یک تکه کوچک دستمال کاغذی قرار دهید و آن‌ها را روی سطح آب بگذارید. پس از مدتی دستمال خیس می شود و از سطح آب پایین می رود.  
سوزن بر روی سطح آب شناور باقی می ماند.

اگر به سطح آب توجه کنید، ملاحظه خواهید کرد که مطابق شکل (۵-۴ الف) در سطح آب یک فرورفتگی ایجاد می شود. این پدیده مشابه نگاهداری یک پیچ توسط یک پارچه توری است.

همان طور که در شکل (۴-۵) دیده می‌شود، با قرار دادن پیچ یک فرورفتگی در پارچه توری ایجاد می‌شود.



شکل ۴-۵



شکل ۵-۵

همان طور که نخ‌های توری به یکدیگر متصل‌اند و پیچ را نگاه می‌دارند، مولکول‌های آب نیز مانند شکل (۴-۵) (الف) با نیروهای چسبندگی یکدیگر را می‌ربایند و باعث می‌شوند که سطح آب مانند یک توری یا پوسته کشیده رفتار کند و سوزن را نگاه دارد. این رفتار سطح را کشش سطحی می‌نامند.

## فعالیت ۵-۱۱

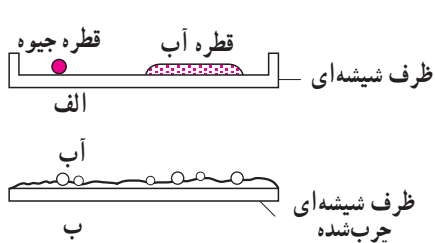
در شکل (۵-۵) حشره چگونه می‌تواند روی آب بایستد؟

### ۵-۵- نیروهای چسبندگی سطحی

دیدیم که بین مولکول‌های یک ماده یک نیروی چسبندگی وجود دارد. این نیرو باعث می‌شود که پدیده‌های جالبی رخ دهد که در بحث‌های قبل دیدیم. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند نیز پدیده‌هایی اتفاق می‌افتند که اکنون به توصیف آن‌ها می‌پردازیم.

## فعالیت ۵-۱۲

یک قطره آب را بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز و خشک قرار دهید. یک بار نیز سطح شیشه را با روغن چرب کنید و سپس قطره را روی سطح آن قرار دهید. آزمایش بالا را با یک قطره جیوه بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز تکرار کنید. مشاهده‌های خود را به کلاس گزارش کنید و توجه‌های خود را به بحث بگذارید.



شکل ۵-۶

در آزمایش اول قطره آب مطابق شکل (۵-۶-الف) بر روی سطح پهن می‌شود. در این صورت می‌گویند آب سطح شیشه را تر می‌کند. در آزمایش دوم قطره آب مطابق شکل (۵-۶-ب) به صورت کروی درمی‌آید. قطره جیوه بر طبق شکل (۵-۶-الف) بر روی ظرف شیشه‌ای به صورت کروی درمی‌آید.

برای توجیه این مشاهدات می‌توان گفت بین مولکول‌های آب و شیشه نیز نیرویی وجود دارد که نیروی چسبندگی سطحی نامیده می‌شود. در فعالیت اول نیروی چسبندگی سطحی بیش‌تر از نیروی چسبندگی است و آب بر روی سطح شیشه پهن می‌شود. در فعالیت دوم، نیروی چسبندگی سطحی کمتر از نیروی چسبندگی است و آب به صورت کروی درمی‌آید.

## ۵-۶- موینگی

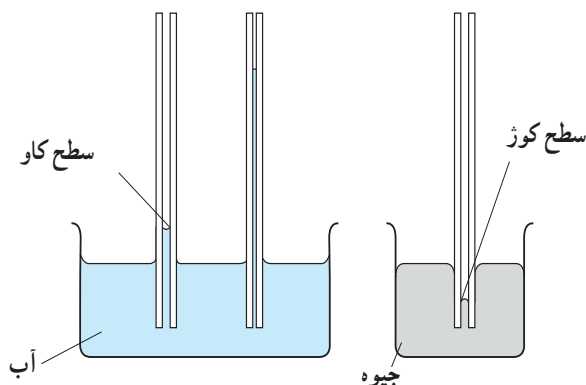
یکی دیگر از اثرهای نیروی چسبندگی سطحی، موینگی است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم:

## آزمایش ۵-۳

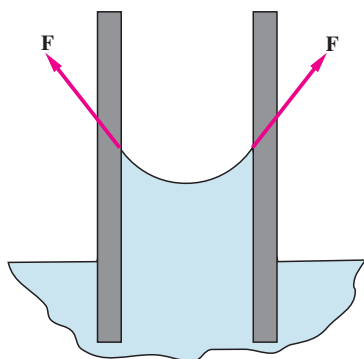
وسایل لازم: یک ظرف آب، یک ظرف جیوه، لوله‌های مویین با قطرهای متفاوت لوله‌های مویین را وارد ظرف‌های آب و جیوه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید. دلیل‌های توجیهی خود را در کلاس به بحث بگذارید.

در آزمایش (۳-۵) می‌توان موردهای زیر را مشاهده کرد:

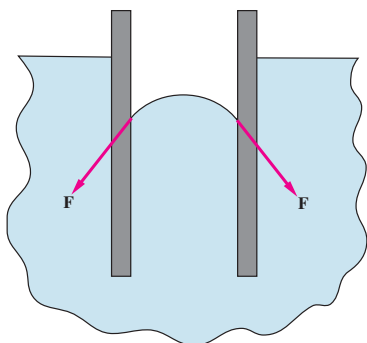
- ۱- سطح آب در لوله مویین دارای فرورفتگی است.
- ۲- آب در لوله مویین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد.
- ۳- سطح جیوه در لوله مویین دارای برآمدگی است.



شکل ۵-۷



شکل ۵-۸



شکل ۵-۹

۴- جیوه در لوله موئین بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف قرار می‌گیرد. در مورد اول نیروی چسبندگی سطحی بیشتر از نیروی چسبندگی است. در نتیجه مولکول‌های آب به طرف سطح داخلی لوله موئین کشیده می‌شوند و در سطح آب مانند شکل (۵-۸) فرورفتگی ایجاد می‌شود.

از طرف سطح داخلی لوله موئین نیروی  $F$  مطابق شکل به آبی که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث بالا رفتن آب در لوله موئین می‌شود.

در مورد سوم، نیروی چسبندگی بیش‌تر از نیروی چسبندگی سطحی است. مولکول‌های جیوه که به سطح داخلی لوله موئین نزدیک‌اند به طرف مرکز لوله کشیده می‌شوند و در سطح جیوه مطابق شکل (۵-۹) برآمدگی ایجاد می‌شود.

از طرف سطح داخلی لوله موین نیروی  $F$  مطابق شکل به جیوه‌ای که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث پایین رفتن جیوه در لوله موین می‌شود.

### فعالیت ۵-۱۳

آزمایشی طراحی کنید که در آن سطح آب در لوله موین دارای برآمدگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف پایین رود.

### فناوری و کاربرد



مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب موینگی آب را به درون خود می‌کشند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را قیراندود می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود.

### فعالیت ۵-۱۴

در گذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

### فعالیت ۵-۱۵

در گیاهان آب و مواد غذایی لازم دیگر بر اساس موینگی از آوندهای چوبی بالا می‌روند. مواد دیگری را نام ببرید که در اثر این خاصیت آب در آن‌ها نفوذ می‌کند.

اکنون که با نیروهای بین مولکولی آشنا شده‌ایم به بررسی برخی خواص مایع‌ها و گازها می‌پردازیم.

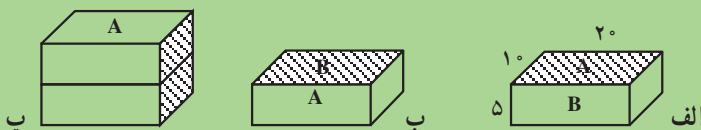
### ۵-۷ فشار

اگر با کفش روی برف بایستیم، مقداری در آن فرو می‌رویم. ولی اگر چوب اسکی به پا داشته باشیم، کمتر در برف فرو می‌رویم علت چیست؟ در این مثال، وزن تغییر نکرده است. بلکه سطح

تماس ما با برف افزایش یافته است. در حالتی که چوب اسکی به پا داریم، نیروی وارد بر سطح در مقایسه با حالتی که با کفش در برف ایستاده‌ایم در سطح بیش‌تری توزیع شده است و در نتیجه کمتر در برف فرو می‌رویم.

## فعالیت ۵-۱۶

در شکل (۵-۱۰ الف) آجری به ابعاد  $5\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$  نشان داده شده است. مساحت وجه A برابر  $20\text{ cm}^2$  و مساحت وجه B برابر  $100\text{ cm}^2$  است. سطح مقداری ماسه نرم را صاف کنید و آجر را از وجه B روی آن قرار دهید. (شکل ۵-۱۰ ب) مقدار فرورفتگی آجر را در شن اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس آجر را از وجه A روی ماسه قرار دهید و آجر یکسان دیگری را روی آن بگذارید (شکل ۵-۱۰ پ). مقدار فرورفتگی را مجدداً اندازه‌گیری و یادداشت کنید. مشاهده خود را به کلاس گزارش دهید و توجه آن را به بحث بگذارید.



شکل ۵-۱۰

از فعالیت (۵-۱۶) مشاهده خواهیم کرد که مقدار فرورفتگی در دو حالت یکسان است. علت این است که در آزمایش دوّم، هم وزن را دوبرابر کرده‌ایم و هم سطح تماس را. در نتیجه، نیرویی که به هر بخش از سطح تماس وارد می‌شود مانند حالت اول است. کمیتی که ما در این جا با آن سروکار داریم، اندازه نیروی عمودی وارد بر واحد سطح است که فشار نامیده می‌شود. اگر اندازه نیروی عمود بر سطح A برابر F باشد، فشار وارد بر سطح A با رابطه زیر تعریف می‌شود.

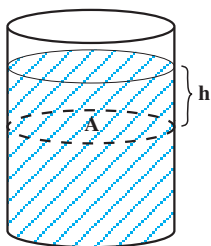
$$P = \frac{F}{A} \quad (۵-۲)$$

واحد فشار در SI،  $\text{N/m}^2$  است که پاسکال (Pa) نامیده می‌شود. در این رابطه اگر F و A را دوبرابر کنیم، فشار P تغییر نمی‌کند.

## فعالیت ۵-۱۷

چرا پاشنه نوک تیز به کف چوبی اتاق آسیب می‌رساند؟

## ۵-۸- محاسبه فشار در مایع‌ها



شکل ۵-۱۱

برای محاسبه فشار در داخل مایع‌ها، مایعی را با چگالی  $\rho$  در داخل یک ظرف مطابق شکل (۵-۱۱) در نظر می‌گیریم. وزن مایعی که در بالای سطح  $A$  در عمق  $h$  از سطح مایع قرار گرفته است فشاری را در این سطح ایجاد می‌کند که اکنون به محاسبه آن می‌پردازیم:

جرم مایع موجود در بالای سطح  $A$  برابر است با:

$$m = \rho V = \rho h A$$

وزن این بخش از مایع برابر با  $\rho h A g$  است. در نتیجه، فشار حاصل از مایعی که در بالای  $A$

$$P = \frac{\rho h A g}{A}$$

قرار دارد در این عمق برابر است با:

$$P = \rho g h$$

(۵-۳)

## مثال ۵-۲

در داخل ظرف شکل (۵-۱۱) به ارتفاع  $20\text{ cm}$  آب ریخته‌ایم. فشار ناشی از

مایع در ته ظرف چه قدر است؟

حل:

$$P = \rho g h = 1000 \times 9.8 \times 0.2 = 1960 \text{ Pa}$$

رابطه (۵-۳) نشان می‌دهد که فشار ناشی از مایع ساکن فقط به عمق از سطح آزاد مایع

بستگی دارد و نقاط هم‌عمق هم فشارند. هم‌چنین، هرچه عمق بیشتر شود فشار مایع افزایش می‌یابد.

این امر را در هنگام شناکردن در زیر آب حس می‌کنیم.

## فعالیت ۵-۱۸

یک قوطی خالی را انتخاب و آن را در عمق‌های مختلف سوراخ کنید. سپس

آن را پر از آب کنید. مشاهده‌های خود را توجیه کنید.

رابطه (۵-۳) را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. یعنی، اگر گاز در داخل محفظه‌ای محبوس

باشد، فشار ناشی از وزن گاز از این رابطه به دست می‌آید. ولی، چون چگالی گازها خیلی کم است،



هنگامی که ارتفاع گاز داخل محفظه کوچک است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه، فشار را در این موارد می‌توان در تمام نقاط گاز یکسان در نظر گرفت.

## ۹-۵- فشار هوا

هوا گازی است که اطراف کره زمین را اشغال کرده است و در زندگی جانداران و گیاهان نقش اساسی و حیاتی دارد. در اثر وجود هوا پدیده‌های متفاوتی در سطح زمین ایجاد می‌شود که در این بخش و بخش‌های بعد به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

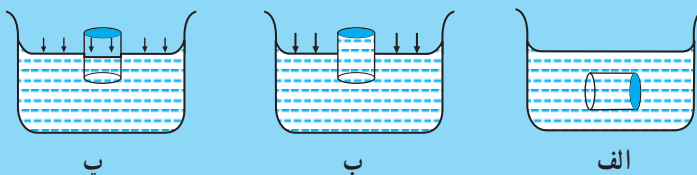
در بخش قبل دیدیم که فشار ناشی از وزن گاز، در مواردی که ارتفاع آن کم است، ناچیز است. در مورد جو زمین ارتفاع هوا زیاد است و فشار ناشی از آن قابل ملاحظه است. این فشار، فشار هوا نامیده می‌شود.

## فعالیت ۵-۱۹

در داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آب جوش بریزید و در آن را محکم ببندید. سپس آب سرد روی آن بریزید. مشاهده خود را به کلاس گزارش کنید و علت را در کلاس به بحث بگذارید.

## آزمایش ۵-۴

وسایل لازم: یک لیوان، یک ظرف  
در ظرفی آب بریزید و لیوان را مطابق شکل (۵-۱۲-الف) در داخل ظرف قرار دهید. سپس در حالی که دقت می‌کنید هوا به داخل لیوان وارد نشود، انتهای آن را مطابق شکل (۵-۱۲-ب) بیرون آورید. مشاهده خود را یادداشت کنید. سپس لیوان را به صورت وارونه مطابق شکل (۵-۱۲-پ) وارد آب کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ توجه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۵-۱۲

در این آزمایش مشاهده می‌کنید که در حالت اول آب مطابق شکل (۵-۱۲-ب) درون لیوان باقی می‌ماند. چه عاملی مانع پایین آمدن آب در لیوان وارونه می‌شود؟ هوا به سطح آب درون ظرف نیرو وارد می‌کند و آب را در درون لیوان نگاه می‌دارد. در شکل (۵-۱۲-پ)، هوای داخل لیوان که خارج نشده است نیز به سطح آب نیرو وارد می‌کند و مانع بالا رفتن آن می‌شود. در واقع اگر به طریقی می‌توانستیم هوای داخل لیوان را خالی کنیم، آب در داخل لیوان بالا می‌رفت.

### فعالیت ۵-۲۰

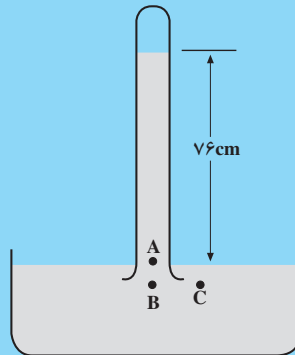
هنگامی که با نی نوشابه می‌نوشیم، چرا نوشابه از نی بالا می‌آید؟

### فعالیت ۵-۲۱

آزمایش (۵-۴) را با یک لیوان پلاستیکی انجام دهید. اگر در حالت (ب) ته لیوان را سوراخ کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

### آزمایش ۵-۵

وسایل لازم: یک لوله آزمایش بلند (در حدود یک متر)، یک ظرف حاوی جیوه. لوله را پر از جیوه کنید و در حالی که سر آن را با انگشت مسدود کرده‌اید، لوله را وارونه کنید و درون ظرف حاوی جیوه فرو برید و انگشت خود را از آن دور کنید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید. (چون جیوه سمی است و ممکن است جذب پوست شود، آزمایش را با یک دستکش پلاستیکی انجام دهید.)



شکل ۵-۱۳

در این آزمایش نیز جیوه درون لوله آزمایش وارونه باقی می ماند. ولی برخلاف آزمایش (۴-۵) که در آن آب تمام لیوان وارونه را پر می کرد، در این جا قسمتی از بالای لوله وارونه خالی می ماند. چون در حین آزمایش مانع وارد شدن هوا به داخل لوله آزمایش شده ایم، در این قسمت خلأ خواهیم داشت. اگر این آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه ۷۶ سانتی متر خواهد شد. اگر آزمایش در محلی که بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد شد.

نتیجه این آزمایش به سطح مقطع لوله آزمایش بستگی ندارد. یعنی اگر سطح مقطع لوله را تغییر دهیم (مثلاً اندازه آن را دو برابر کنیم) ارتفاع ستون جیوه تغییر نخواهد کرد. (چرا؟) اکنون می توانید فشار هوا را در سطح دریای آزاد تعیین کنید. در این محل، همان طور که در آزمایش (۵-۵) دیدیم، ارتفاع ستون جیوه داخل لوله وارونه در شکل (۵-۱۳) برابر ۷۶ سانتی متر است. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می کند برابر با فشار هوا در روی سطح جیوه در داخل ظرف است. زیرا، در غیر این صورت فشار در نقطه های هم عمق B و C در این شکل متفاوت خواهد بود و مایع بین این دو نقطه جریان خواهد یافت و چون این امر اتفاق نمی افتد باید فشار در سطح A و سطح جیوه در داخل ظرف برابر باشند. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می کند، با استفاده از رابطه (۵-۳) و جدول (۵-۱) برابر است با:

$$P = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times 0.76 = 101325 \text{ Pa}$$

این فشار یک اتمسفر (atm) نامیده می شود. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با  $101325 \text{ Pa}$  یا یک اتمسفر است. متداول است که به جای محاسبه  $\rho gh$  فشار را برحسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً برحسب میلی متر) بیان می کنند. بنابراین، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با  $760$  میلی متر جیوه (mmHg) است.

با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا کاهش می یابد. رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است. ولی می توان نشان داد که تا ارتفاع  $2000$  متر از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر  $10 \text{ m}$  یک میلی متر جیوه کاهش می یابد.

### مثال ۳-۵

شهر تهران به طور متوسط در ارتفاع  $1400$  متر از سطح آزاد دریا قرار دارد، فشار هوا در آن چند میلی متر جیوه و چند پاسکال است؟

دیدیم که به ازای هر  $10\text{ m}$  یک میلی‌متر جیوه از فشار هوا کم می‌شود، در نتیجه، فشار هوا در تهران  $14^\circ$  میلی‌متر جیوه از فشار هوا در سطح آزاد دریا کمتر است. یعنی  $760 - 140 = 620\text{ mmHg}$  است.

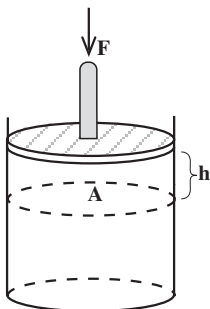
$$\text{فشار هوا در تهران} = 0.620 \times 13600 \times 9/8 = 82633\text{ Pa}$$

## فعالیت ۵ - ۲۲

آیا آزمایش (۵-۵) را می‌توان با آب انجام داد و فشار هوا را تعیین کرد؟

### ۵-۱ - محاسبه فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا

در بخش (۵-۸) فشار ناشی از مایع را در عمق  $h$  محاسبه کردیم. در این بخش فشار مایع را هنگامی که یک نیروی خارجی اضافی، مثلاً نیروی ناشی از فشار هوا، به سطح مایع وارد می‌شود محاسبه می‌کنیم. برای این کار پیستونی را مطابق شکل (۵-۱۴) بر روی مایع قرار می‌دهیم فرض کنید نیروی  $F$  به پیستون وارد می‌شود.



شکل ۵-۱۴

در این حالت، نیروی وارد بر سطح مایع در این عمق برابر است با وزن مایع در بالای این سطح ( $\rho ghA$ ) به علاوه نیروی  $F$ . در نتیجه، فشار در این عمق برابر است با:

$$P = \frac{\rho ghA + F}{A}$$

$$P = \rho gh + \frac{F}{A} \quad (۵-۴)$$

یعنی، با اعمال نیروی  $F$ ، فشار در تمام نقاط مایع به اندازه  $\frac{F}{A}$  افزایش می‌یابد.

## مثال ۵ - ۴

فرض کنید که در مثال (۵-۲) یک پیستون با جرم ناچیز بر روی آب قرار دهیم و یک وزنه  $20^\circ$  کیلوگرمی بر روی آن بگذاریم. فشار مایع (ناشی از وزنه و وزن مایع)

در ته ظرف چه قدر است؟ فرض کنید که سطح مقطع پیستون  $200\text{ cm}^2$  است.  
 حل: با استفاده از رابطه (۴-۵) داریم:

$$P = \rho gh + \frac{F}{A}$$

$$= 1960 + \frac{200 \times 9 / 8}{200 \times 10^{-4}} = 99960 \text{ Pa}$$

مشاهده می شود که در این مثال عمده فشار از وزنه  $200$  کیلوگرمی حاصل شده است.

اگر در شکل (۱۱-۵) در بالای مایع هوا وجود داشته باشد، به سطح آزاد مایع نیرو وارد می کند و در نتیجه فشار حاصل از آن، که همان فشار هواست، را نیز باید در رابطه (۳-۵) منظور کنیم. بنابراین، با استفاده از رابطه (۴-۵) داریم

$$P = P_0 + \rho gh \quad (5-5)$$

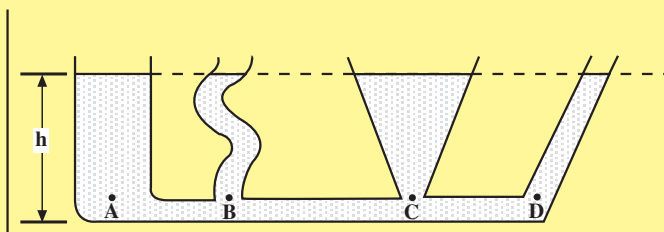
این فشار، فشار کل و یا فشار مطلق در عمق  $h$  از سطح مایع نامیده می شود. از این به بعد هر جا که در مورد فشار مایع یا گاز صحبت می شود، منظور فشار کل است.

### تمرین ۵-۱

- الف - فشار ناشی از آب در عمق ۴ متری یک استخر چه قدر است؟  
 ب - فشار کل در این عمق چه قدر است؟

### مثال ۵-۵

همان طور که در شکل (۱۵-۵) نشان داده شده است، ظرف های مختلف به یکدیگر متصل شده اند. در این ظرف مایع می ریزیم. سطح آزاد مایع در تمام ظرف ها در یک



شکل ۱۵-۵

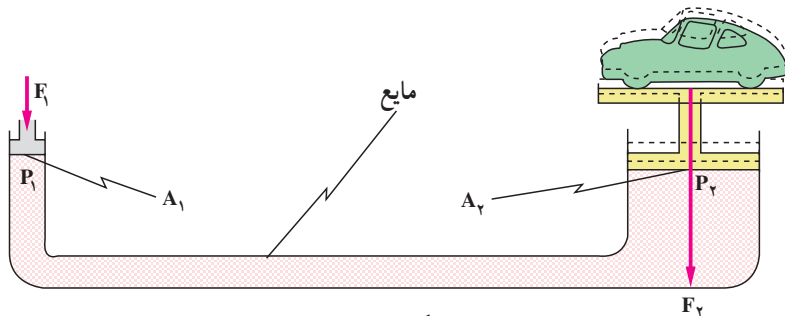
ارتفاع قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه (۵-۵) علت این امر را توضیح دهید.  
**حل:** اگر سطح آزاد مایع در این ظرف‌ها در یک ارتفاع نباشند، بر طبق رابطه (۵-۵) باید فشار مایع در نقاط  $A, B, C$  و  $D$  متفاوت باشد و این امر باعث می‌شود که مایع جریان یابد. چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید سطح‌های آزاد هم ارتفاع باشند.

ملاحظه می‌شود که در رابطه (۴-۵) فشار مایع در تمام نقاط به اندازه  $\frac{F}{A}$  افزایش یافته است. به همین ترتیب در رابطه (۵-۵) فشار تمام نقاط مایع به اندازه فشار هوا افزایش یافته است. این نتیجه‌ها نمونه‌هایی از کاربرد اصل پاسکال است. بر طبق این اصل فشار وارد بر مایع محصور بدون کاهش به تمام قسمت‌های مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. یکی از کاربردهای مهم اصل پاسکال، بالابر هیدرولیکی است.

### فناوری و کاربرد



**بالابر هیدرولیکی:** از این بالابر برای بالا بردن اجسام سنگین، مثلاً اتومبیل (برای پنچرگیری و یا تعویض چرخ‌ها)، استفاده می‌شود.  
 طرح ساده این بالابر در شکل (۱۶-۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۵

هنگامی که نیروی  $F_2$  برابر با وزن اتومبیل به پیستون سمت راست وارد می‌شود، بنا بر اصل پاسکال فشار حاصل از آن که برابر  $\frac{F_2}{A_2}$  است به تمام نقاط مایع، از جمله به سطح زیر پیستون سمت چپ، منتقل می‌شود. برای خنثی کردن نیروی حاصل از آن

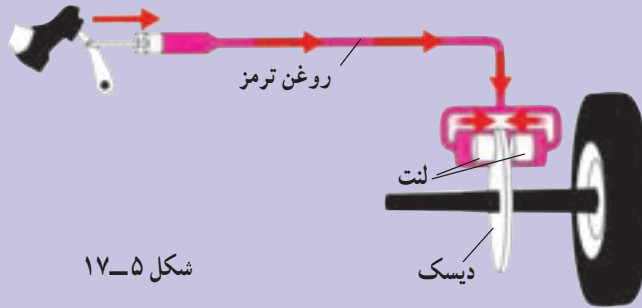
باید نیروی  $F_1$  به این پیستون وارد شود. فشار حاصل از این دو نیرو باید با یکدیگر برابر باشند. در نتیجه:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

بر طبق این رابطه اگر  $A_2$  خیلی بزرگ‌تر از  $A_1$  باشد،  $F_2$  نیز باید بسیار بزرگ‌تر از  $F_1$  باشد. در نتیجه، می‌توان اجسام سنگین را با نیروی کمی بالا برد.

### تمرین ۵-۱۰

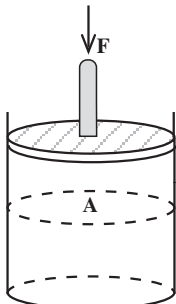
در شکل زیر دستگاه ترمز اتومبیل نشان داده شده است. توضیح دهید که این دستگاه چگونه عمل می‌کند.



شکل ۵-۱۷

### ۵-۱۱- فشار در گازها

در حالی که با انگشت خود دهانه یک سرنگ را بسته‌اید، با حرکت پیستون آن هوای داخل سرنگ را فشرده کنید. چه حس می‌کنید؟ در هنگام باد کردن لاستیک دوچرخه، چرا رفته‌رفته انجام این کار مشکل‌تر می‌شود؟ چرا وقتی بیج باد دوچرخه را شل می‌کنیم، باد آن خالی می‌شود؟



شکل ۵-۱۸

مثال‌های بالا و مثال‌های مشابه نشان می‌دهند که هوای داخل سرنگ و لاستیک‌ها دارای فشارند. در این حالت‌ها فشار را چگونه می‌توان محاسبه کرد؟ برای انجام این کار گازی را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (۵-۱۸) داخل یک محفظه قرار دارد و از طریق پیستون نیروی  $F$  به آن وارد می‌شود.

فشاری که این نیرو در زیر بیستون ایجاد می‌کند، برابر با  $\frac{F}{A}$  است. بر طبق اصل پاسکال این فشار بدون کاهش به تمام قسمت‌های گاز و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. بنابراین، با توجه به این که فشار ناشی از وزن گاز ناچیز است، فشار گاز در داخل ظرف با رابطه زیر داده می‌شود:

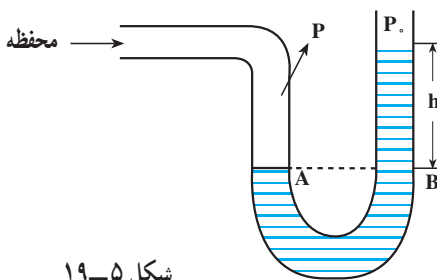
$$P = \frac{F}{A} \quad (۶-۵)$$

آیا اکنون می‌توانید به پرسش‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شد پاسخ دهید؟

## فعالیت ۵-۲۳

با دست خود خروجی یک تلمبه برای بادکردن چرخ دوچرخه را مسدود و هوای داخل آن را فشرده کنید. فشار گاز داخل تلمبه را برآورد کنید.

برای اندازه‌گیری فشار گاز از فشارسنج استفاده می‌شود.



شکل ۵-۱۹

**فشارسنج:** برای اندازه‌گیری فشار داخل

یک محفظه آن را به یک لوله U شکل مطابق شکل (۵-۱۹) وصل می‌کنیم.

لوله حاوی یک مایع (معمولاً جیوه) با چگالی  $\rho$  است. اختلاف فشار هوا و فشار گاز داخل محفظه باعث می‌شود که مایع از دو طرف لوله U شکل در یک سطح قرار نگیرند. از

اختلاف سطح آنها می‌توان این اختلاف فشار را به دست آورد. فرض کنید  $P_0$  فشار هوا و  $P$  فشار گاز داخل محفظه است. چون فشار مایع در نقاط  $A$  و  $B$  یکسان است (چرا؟)، اختلاف فشار  $P_0$  و  $P$  برابر با فشار حاصل از ارتفاع  $h$  از مایع است، یعنی:

$$P - P_0 = \rho gh \quad (۷-۵)$$

با اندازه‌گیری  $h$  می‌توان مقدار  $\rho gh$  را محاسبه کرد. این کمیت، که برابر اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوا است، فشار پیمانه‌ای نامیده می‌شود. در اندازه‌گیری فشار خون و یا فشار هوای داخل لاستیک‌های اتومبیل فشار پیمانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. (به‌عنوان مثال، فشار پیمانه‌ای هوای داخل تایر در لاستیک اتومبیل در حدود  $220 \text{ kPa}$  است). برای به دست آوردن فشار کل باید فشار پیمانه‌ای را با فشار هوا جمع کرد. (یعنی فشار کل هوای داخل تایر در حدود  $320 \text{ kPa}$  است.)

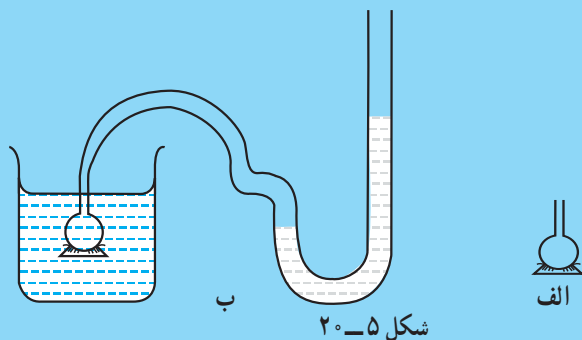


## فعالیت ۵-۲۴

با استفاده از یک سرنگ و یک لوله باریک قابل خم کردن مانند نی نوشابه یا شیلنگ کولر و... یک فشارسنج بسازید. فشار گاز داخل سرنگ را با استفاده از آبی که داخل لوله می‌ریزید اندازه‌گیری کنید.

## آزمایش ۵-۶

وسایل لازم: فشارسنج، قیف، پوسته قابل ارتجاع  
به انتهای یک قیف یک پوسته قابل ارتجاع (مثلاً بادکنک) را مطابق شکل (۵-۲۰-ب) وصل کنید و انتهای دیگر قیف را مطابق شکل (۵-۲۰-الف) به فشارسنج متصل کنید.

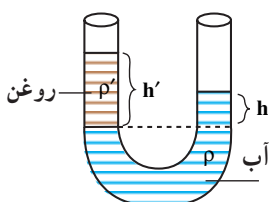


با وارد کردن قیف در داخل مایع می‌توانید فشار مایع را اندازه‌گیری کنید. با انجام این آزمایش: ۱- چگونگی بستگی فشار به عمق ۲- یکسان بودن فشار در نقاط هم‌عمق را تحقیق کنید. هم‌چنین، تحقیق کنید که آیا فشار در هر نقطه در مایع به جهت‌گیری پوسته در آن نقطه بستگی دارد یا خیر؟

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اندازه نیروی وارد بر پوسته به جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به فشار در مکانی که پوسته در آن قرار دارد وابسته است. یعنی، در یک عمق معین اندازه نیروی وارد بر پوسته در حالتی که در وضعیت افقی قرار دارد و در حالتی که به صورت قائم قرار گرفته است یکسان است.

## تمرین‌های فصل پنجم

- ۱- در هنگام پاک کردن تخته سیاه ذرات گچ به طور نامنظم به اطراف حرکت می‌کنند. حرکت نامنظم آن‌ها را چگونه می‌توان توجیه کرد؟
- ۲- جرم نفت موجود در یک بشکه پر نفت خانگی را تخمین بزنید.
- ۳- حجم یک گرم طلا چند سانتی متر مکعب است؟
- ۴- تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است. اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می‌کند؟ (از جدول ۵-۱ استفاده کنید.)
- ۵- قطعه‌ای به شما داده شده و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۶- چرا پونز راحت‌تر از میخ به داخل چوب فرو می‌رود؟
- ۷- فشاری را که در هنگام ایستادن در روی زمین ایجاد می‌کنید برآورد کنید.
- ۸- در چه عمقی از دریا فشار ده برابر فشار جو در سطح دریا است (چگالی آب دریا را  $1150 \text{ kg/m}^3$  فرض کنید)؟



شکل ۵-۲۱

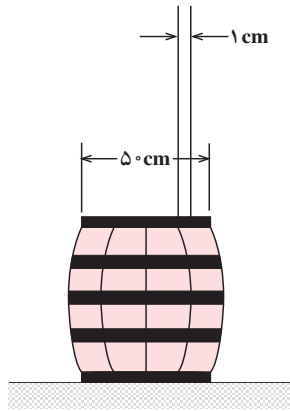
- ۹- در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته‌ایم.

الف - نشان دهید :

$$\frac{h'}{h} = \frac{\rho}{\rho'} \quad (۷-۵)$$

- که در آن  $\rho'$  چگالی روغن و  $\rho$  چگالی آب و  $h'$  ارتفاع ستون روغن است.
- ب - چگونه می‌توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.

- ۱۰- آزمایش شکل (۵-۲۲) را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به بشکه‌ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به  $15/3$  متر رسید، درپوش بشکه دررفت. اگر قطر درپوش  $5 \text{ cm}$  باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله  $1 \text{ cm}$  است.



شکل ۵-۲۲

۱۱- فشار هوا را در محلی که زندگی می‌کنید برآورد کنید.

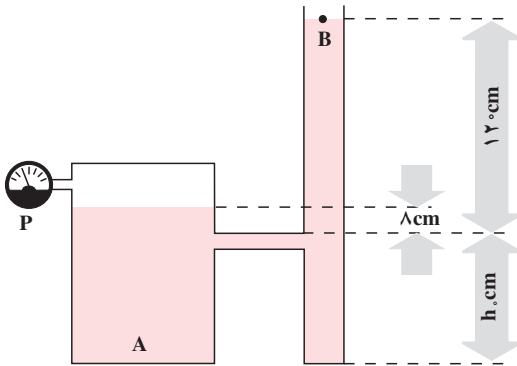
۱۲- اگر در مخزن شکل (۵-۲۳) آب بریزیم، وقتی سطح مایع از  $h$  بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A،  $8\text{ cm}$  بالاتر از  $h$  و در B،  $12\text{ cm}$  بالاتر از  $h$  باشد؛

الف - فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (این فشارسنج فشار پیمانه‌ای را اندازه‌گیری

می‌کند.)

ب - فشار کل گاز محبوس

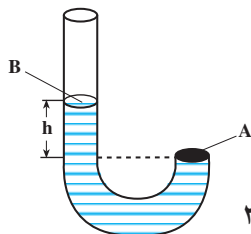
چه قدر است؟



شکل ۵-۲۳

۱۳- در شکل (۵-۲۴) مایعی به چگالی  $\rho$  در داخل لوله U شکل ریخته شده و انتهای

سمت راست آن با درپوشی بسته شده است. مایع تمام بخش سمت راست لوله را اشغال کرده است. اختلاف ارتفاع در نقاط A و B برابر  $h$  است.



شکل ۵-۲۴

الف - فشار مایع در A چقدر است؟

ب - اگر شعاع لوله  $r$  باشد، چه نیرویی از طرف مایع به

درپوش A وارد می‌شود؟



کوير لوت

کوير هم بسيار زيباست هر چند در آن باران به ندرت مي بارد! پس از بارش باران و تابش دوباره خورشيد بر بهنه کوير، جلوه هاي زيبايي در آن پديد مي آيد. تبخير آب موجود در لايه سطحی خاک کوير، موجب کاهش حجم و ايجاد ترک هاي بي شکل و بديعي در آن مي شود.

## گرمای و قانون گازها

چرا وقتی قطعه یخی را درون یک لیوان آب می‌اندازیم، آب سرد می‌شود؟ چه چیز باعث خشک شدن لباس‌های مرطوب روی بند می‌شود؟ عامل اصلی ایجاد باد و جریان هوا چیست؟ پاسخ این سؤال‌ها و بسیاری از سؤال‌های مشابه را می‌توان با بررسی گرما و اثرهای آن به دست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم‌های فیزیکی دما و گرما آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم‌ها به بررسی روش گرماسنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای نهان ذوب و تبخیر می‌پردازیم. علاوه بر این اثر تغییر دما بر طول و حجم جامدها، مایع‌ها و گازها را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را شرح می‌دهیم.

### ۱-۶- دما، انرژی درونی و گرما

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که دما معیاری است که میزان سردی و گرمی جسم‌ها را مشخص می‌کند.

#### فعالیت ۱-۶

در فصل ۱ گفتیم برای آن که تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید یکای آن و روش و ابزار اندازه‌گیری آن مشخص شود.

دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی برای آن یک روش اندازه‌گیری بنویسید، یکای آن را مشخص کنید و ابزار اندازه‌گیری آن را توضیح دهید. (برای این کار می‌توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.) عیب‌ها و مزیت‌های روش و ابزار اندازه‌گیری‌ای را که معرفی کرده‌اید بنویسید.

تعریف دما به صورتی که با انجام این فعالیت ارائه کرده‌اید، یک تعریف عملیاتی نامیده می‌شود. یکای دما: همان‌گونه که با انجام فعالیت بالا، بیان کرده‌اید، یکای دما درجه سلسیوس<sup>۱</sup> است، که با نماد °C نمایش داده می‌شود. دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با  $\theta$  نشان می‌دهند. مقیاس دمای مطلق (یا کلوین): در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین<sup>۲</sup> را به کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می‌دهند. صفر کلوین تقریباً برابر °C ۲۷۳- است<sup>۳</sup>. به این ترتیب برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین باید مقدار دما بر حسب سلسیوس را با ۲۷۳ جمع کرد، یعنی:

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273 \quad (1-6)$$

### تمرین ۱-۶

دمای ذوب یخ، °C و دمای جوش آب، °C ۱۰۰، و دمای بدن انسان سالم، °C ۳۷، هر یک برابر چند کلوین است؟

### مثال ۱-۶

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در هر دو مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

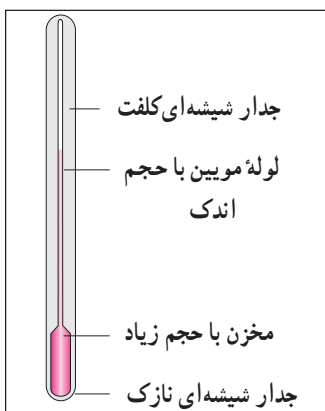
حل: داریم

$$\begin{aligned} \Delta T(K) &= T_2(K) - T_1(K) \\ &= [\theta_2(^{\circ}C) + 273] - [\theta_1(^{\circ}C) + 273] \\ &= \theta_2(^{\circ}C) - \theta_1(^{\circ}C) \end{aligned}$$

در نتیجه:

$$\Delta T(K) = \Delta (^{\circ}C) \quad (2-6)$$

۱- درجه بندی سلسیوس را نخستین بار منجم سوئدی آنדרس سلسیوس در سال ۱۱۲۱ هجری شمسی به کار برد.  
 ۲- این مقیاس دما را ویلیام تامسون (لرد کلوین)، فیزیک و ریاضی دان اسکاتلندی که در سال‌های ۱۲۰۳ تا ۱۲۸۶ (از ۱۸۲۴ تا ۱۹۰۷ میلادی) هجری شمسی می‌زیست طرح‌ریزی کرد.  
 ۳- صفر کلوین به‌طور دقیق‌تر برابر °C ۲۷۳/۱۵- است، ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی °C ۲۷۳- مناسب است.



شکل ۱-۶- دماسنج جیوه‌ای

**دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی):** در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با دماسنج جیوه‌ای و الکلی (شکل ۱-۶) و هم چنین طرز مدرج کردن آن‌ها آشنا شدید. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم باید دماسنج را در تماس با آن جسم قرار دهیم به گونه‌ای که مخزن دماسنج در تماس کامل با آن باشد. مدتی (حدود دو الی سه دقیقه) صبر می‌کنیم تا ارتفاع مایع در لوله دماسنج دیگر تغییر نکند. عددی را که در مقابل سطح مایع در لوله ثبت شده است می‌خوانیم. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد.

### تعبیر مولکولی دما: آنچه تاکنون درباره دما گفته‌ایم

به تعریف عملیاتی آن مربوط می‌شود. در مبحث‌های تخصصی فیزیک تعبیری برای دما وجود دارد که می‌توانیم آن‌را با مراجعه به تعریف انرژی درونی دریابیم. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که:

الف - انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن از جمله انرژی جنبشی این ذره‌هاست.

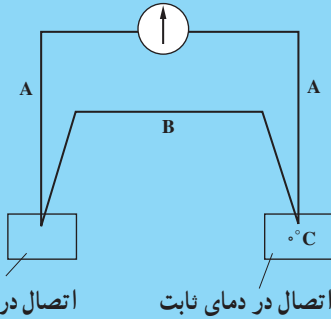
ب - افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود. از این‌جا تعبیر مولکولی زیر برای دما ارائه می‌شود. دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های سازنده آن.

## آزمایش ۶-۱

وسایل لازم: دو تکه سیم فلزی غیر هم جنس A و B (برای مثال سیم A مسی و سیم B آهنی)، یک آمپرسنج حساس (میلی آمپرسنج یا میکروآمپرسنج)، سه پایه، شعله پخش کن، چراغ گازی یا الکلی، یک ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک سطل کوچک برای یخ، مقداری یخ، یک دماسنج جیوه‌ای

- ۱- با سیم‌های فلزی و آمپرسنج مداری مطابق مدار شکل (۴-۶) ببندید.
- ۲- در ظرف شیشه‌ای کمی بیش از نصف آب بریزید و آن‌را روی سه پایه بالای شعله قرار دهید و یک دماسنج درون آن قرار دهید، به طوری که هر وقت لازم باشد بتوانید دمای آب گرم را اندازه بگیرید.

### آمپرسنج حساس



A = سیم مسی  
B = سیم آهنی

شکل ۶-۲

۳- سطل را از یخ در حال ذوب پر کنید. دمای یخ در حال ذوب ثابت است. این دما در فشار یک اتمسفر برابر  $0^{\circ}\text{C}$  است.

۴- یکی از دو محل اتصال دو فلز را درون یخ در حال ذوب که دمای آن مشخص و ثابت است فرو ببرید.

۵- اتصال دیگر را درون ظرف آب گرم که دمای آن را توسط دماسنج درون آب اندازه گرفته‌اید قرار دهید. با این کار مشاهده خواهید کرد که آمپرسنج عبور جریانی را نشان می‌دهد.

۶- این آزمایش را چند بار تکرار کنید، هر بار آب گرم را در دمای بالاتری به کار برید و شدت جریان حاصل را اندازه بگیرید.

۷- یافته‌های خود را در جدولی وارد کنید.

با انجام این آزمایش درمی‌یابید که هرچه اختلاف دمای دو اتصال بیش تر باشد، شدت جریان مدار بیش تر می‌شود، اگر آزمایش را چندین بار و برای اختلاف دماهای متفاوت تکرار کنید، می‌توانید شدت جریان مربوط به هر اختلاف دمایی را مشخص کنید. حتی می‌شود آمپرسنج را به جای شدت جریان برحسب اختلاف دما مدرج کرد و به این ترتیب یک دماسنج ساخت.

این نوع دماسنج را دماسنج ترموکوپل می‌نامند. دماسنج‌های ترموکوپل برتری‌هایی نسبت به دماسنج‌های دیگر دارند که برخی از آن‌ها در زیر آمده است.

— کوچک بودن اتصال سیم‌ها باعث می‌شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه‌گیری را بالا می‌برد.

— خروجی این دماسنج، یک علامت الکتریکی (یک جریان) است، به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه‌گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می‌شود و این تغییر جریان می‌تواند



مستقیماً یک دستگاه هشداردهنده تغییرات ناگهانی دما را به کار اندازد و یا برای ثبت کردن تغییرات پیوسته دما به کار رود.

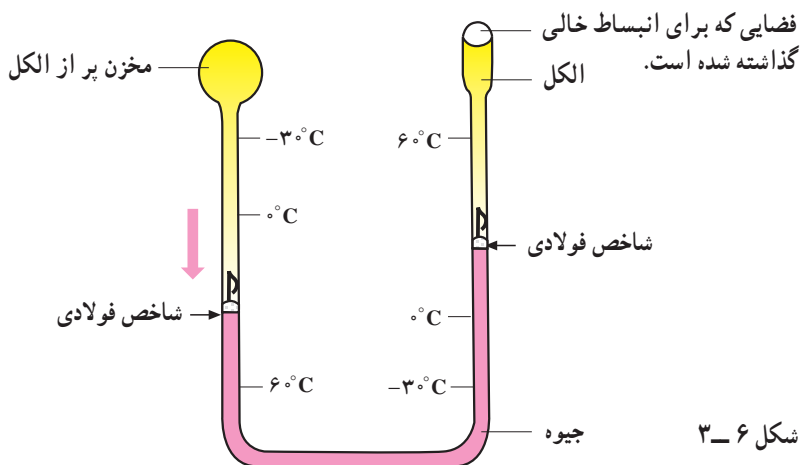
— این دماسنج‌ها نسبت به اختلاف دماهای بسیار کوچک، حتی به کوچکی  $0.001^{\circ}\text{C}$  نیز حساس اند.

— دماسنج‌های ترموکوپل را می‌توان برای اندازه‌گیری دماهای بالا تا حدود  $1500^{\circ}\text{C}$  به کار برد. برای این کار باید سیم‌های فلزی A و B را از جنس‌های خاصی انتخاب کرد که در آن دماها ذوب نشوند.

### مطالعه آزاد

دماسنج فرینه: این دماسنج نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی است که بیشینه و کمینه دما را در مدت یک شبانه‌روز نشان می‌دهد. ویژگی‌های این دماسنج مطابق شکل ۳-۶ عبارتند از:

الف — یک شاخص فولادی که روی سطح جیوه در هر طرف لوله U شکل شناور است.



ب — هنگامی که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل (در لوله سمت چپ شکل)، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می‌برد. در این مرحله سطح الکل در لوله سمت راست نیز بالا می‌رود.

پ - در این هنگام محل تماس شاخص لوله سمت راست با جیوه، بالاترین دما، یا دمای بیشینه‌ای را که هوا به آن رسیده است نشان می‌دهد. اگر سطح جیوه در لوله راست پایین بیاید، شاخص فولادی همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد.

ت - هنگامی که الکل به علت کاهش دما، منقبض می‌شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می‌راند. محل تماس شاخص فولادی با جیوه پایین‌ترین دما یا دمای کمینه را نشان می‌دهد. محل این شاخص نیز با گرم‌تر شدن هوا دیگر تغییر نمی‌کند.

ث - با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان ۲۴ ساعت شبانه‌روز به سطح جیوه برگردانده می‌شوند تا برای روز بعد آماده باشند.

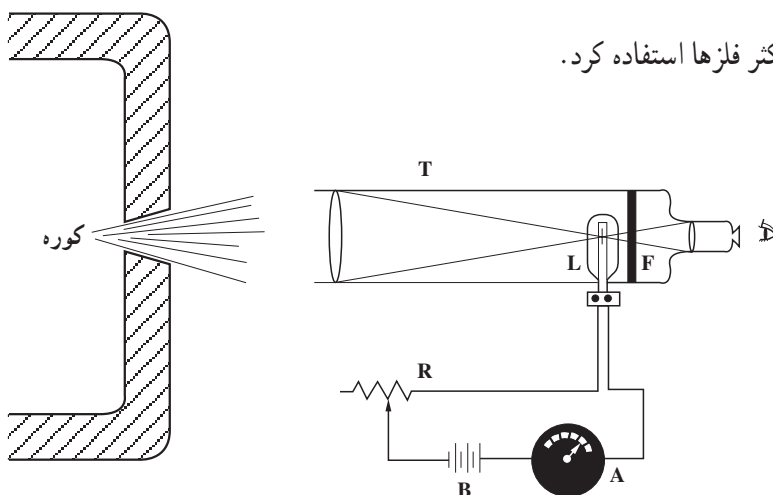
## مطالعه آزاد

**تف‌سنج نوری:** برای اندازه‌گیری دماهایی که بیش‌تر از گستره دماسنج ترموکوپل قرار دارند، از وسیله‌ای به نام تف‌سنج نوری استفاده می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۶-۴ دیده می‌شود این وسیله از یک تلسکوپ T، که در لوله آن یک صافی شیشه‌ای F به رنگ قرمز و یک لامپ کوچک L تعبیه شده، تشکیل شده است. اگر تف‌سنج به طرف کوره گرفته شود، شخصی که به داخل تلسکوپ نگاه می‌کند، رشته تیره لامپ را بر روی زمینه روشن کوره، مشاهده می‌کند. لامپ به باتری B و مقاومت متغیر (رئوستای) R وصل است. با حرکت دادن پیچ رئوستا و کاهش مقاومت آن می‌توان جریان عبوری از مدار را افزایش و در نتیجه روشنایی لامپ را زیاد کرد. مقاومت رئوستا را آن قدر کم می‌کنیم تا روشنایی لامپ درست برابر روشنایی زمینه شود.

با استفاده از دستگاهی که قبلاً در دماهای معلوم درجه‌بندی شده، آمپرسنج A را در مدار، می‌توان درجه‌بندی کرد تا مستقیماً دمای مجهول را اندازه بگیرد. در این روش چون لازم نیست که هیچ قسمتی از دستگاه با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، تماس یابد، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقاط ذوب

اکثر فلزها استفاده کرد.



شکل ۶-۴- قسمت‌های اصلی یک تفسنج نوری

**گرما و تعادل (تراز مندی) گرمایی:** در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما، بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است مبادله می‌شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی‌ای که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، برابر انرژی‌ای است که جسم با دمای پایین‌تر می‌گیرد. این مبادله انرژی تا زمانی که دمای دو جسم یکی شود ادامه می‌یابد. به این ترتیب آیا اگر دو جسم هم‌دما در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرمایی بین آن‌ها مبادله می‌شود؟ روشن است که گرمای خالصی مبادله نمی‌شود. به عبارت کامل‌تر گرمایی که جسم اول به جسم دوم می‌دهد درست برابر گرمایی است که جسم دوم به جسم اول می‌دهد، پس به‌طور خالص گرمایی مبادله نشده است.

در این وضعیت یعنی وقتی گرمایی بین دو جسم مبادله نشود می‌گوییم دو جسم با هم در تعادل گرمایی‌اند و دمای مشترک را **دمای تعادل** می‌نامیم.

برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلزی که دمای بالاتر است به آب که دمای پایین‌تر است، شارش می‌کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعه فلز و آب هم‌دما شوند و به دمای تعادل برسند.

**تغییر دما - گرمای ویژه:** در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر معین در دما را محاسبه کردیم. دیدیم که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم‌های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. از آن‌جا گرمای ویژه هر جسم را که با نماد  $c$  نمایش داده

می شود به صورت زیر تعریف کردیم :

گرمای ویژه هر جسم مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلونین) افزایش یابد.

به این ترتیب گرمای (Q) لازم برای ایجاد تغییر  $\Delta T$  یا  $\Delta \theta$  در دمای m کیلوگرم از یک جسم برابر است با :

$$Q = mc\Delta\theta = mc(\theta_2 - \theta_1) \quad (3-6)$$

و یا

$$Q = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1) \quad (4-6)$$

در این رابطه ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم،  $\Delta \theta$  (تغییر دما) بر حسب درجه سلسیوس و یا  $\Delta T$  بر حسب کلونین است. یکای c با استفاده از رابطه های (3-6) و (4-6) برابر است با ژول بر کیلوگرم بر درجه سلسیوس یا ژول بر کیلوگرم بر کلونین. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول (1-6) داده شده است.

جدول 1-6 - گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم بر کلونین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۲۰
آب دریا	۳۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۳۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰

## مثال ۲-۶

یک سماور حاوی ۲kg آب  $20^\circ\text{C}$  است. گرمای لازم برای افزایش دمای آب

تا  $10^{\circ}\text{C}$  را حساب کنید.

حل: افزایش دما برابر است با:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 20 = 80^{\circ}\text{C}$$

گرمای ویژه آب با استفاده از جدول (۶-۱) برابر است با  $c = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

در نتیجه با استفاده از رابطه (۶-۳) داریم:

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) = 2 \times 4200 \times 80 = 672000 \text{ J}$$

$$\approx 0.67 \text{ MJ}$$

اگر دمای جسم در اثر مبادله گرما بالا رود،  $\theta_2 > \theta_1$  و  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 > 0$  و رابطه (۶-۳) مقدار مثبتی برای  $Q$  به دست می دهد، ( $Q > 0$ ).

در حالی که اگر دمای جسم با مبادله گرما کاهش یابد، داریم  $\theta_2 < \theta_1$ ، آن گاه  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 < 0$  و مقداری که برای  $Q$  به دست می آید منفی خواهد بود، ( $Q < 0$ ).

پس می توان گفت که علامت  $Q$  در رابطه (۶-۳) مشخص می کند که جسم در یک فرآیند تبادل انرژی، گرما گرفته است ( $Q > 0$ ) یا گرما داده است ( $Q < 0$ ). از این پس در این کتاب همواره گرمای گرفته شده را با علامت مثبت و گرمای از دست داده شده را با علامت منفی منظور می کنیم.

### مثال ۶-۳

یک قطعه  $10^{\circ}\text{C}$  گرمی از مس را که دمای آن  $9^{\circ}\text{C}$  است در یک ظرف آب سرد

می اندازیم، دمای تعادل به  $24^{\circ}\text{C}$  می رسد. گرمای مبادله شده را حساب کنید.

حل: داریم  $m = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg}$ ،  $\theta_1 = 9^{\circ}\text{C}$ ،  $\theta_2 = 24^{\circ}\text{C}$  و گرمای ویژه

مس با استفاده از جدول (۶-۱) برابر است با:  $c = 380 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

در نتیجه از رابطه (۶-۳) برای مس، به دست می آوریم:

$$Q = mc\Delta\theta = 0.1 \times 380 \times (24 - 9)$$

$$= 38 \times (-66) = -2508 \text{ J} \approx -2.5 \text{ kJ}$$

علامت منفی  $Q$  نشان می دهد که مس گرما از دست داده است.

## مثال ۶-۴

فرستنده‌ها و گیرنده‌های الکترونیکی درون ماهواره‌ها نیز مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می‌کنند. فرض کنید انرژی‌ای که چنین دستگاهی از سلول‌های خورشیدی متصل به ماهواره دریافت می‌کند  $10\text{ W}$  و انرژی‌ای که فرستنده‌ی امواج به سمت زمین گسیل می‌کند  $3\text{ W}$  باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون و جرم آن  $0.5$  کیلوگرم باشد. این دستگاه در مدت  $100$  ثانیه چقدر گرم می‌شود؟ گرمای ویژه سیلیکون  $700\text{ J/kg}\cdot\text{C}$  است.

**حل:** می‌دانیم  $P = Q/t$ ، و از طرفی  $Q = mc\Delta$  است. از تلفیق این دو رابطه

$$Pt = mc\Delta \quad \text{به رابطه روبرو می‌رسیم}$$

$$\Delta = \frac{Pt}{mc} \quad \text{و از آن جا برای افزایش } \Delta \text{ ما خواهیم داشت:}$$

حال با گذاشتن مقادیر،  $\Delta$  را محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta = \frac{(3\text{ J/s})(100\text{ s})}{(0.5\text{ kg})(700\text{ J/kg}\cdot\text{C})} = 2\text{ C}$$

**دمای تعادل:** دیدیم که اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند. دمای تعادل را می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد. این محاسبه در مثال ۵-۶ انجام شده است.

## مثال ۶-۵

یک قطعه  $140$  گرمی آلومینیوم را که دمای آن  $80\text{ C}$  است در ظرف عایقی که حاوی  $250$  گرم آب در دمای  $22\text{ C}$  است می‌اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

**حل:** در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما داده‌اند، برای سادگی مشخصه‌های

آنها را با زیرنویس‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهیم، یعنی:

$$m_1 = 140\text{ g} = 0.14\text{ kg} = \text{جرم آلومینیوم}$$

$$\theta_1 = 80\text{ C} = \text{دمای اولیه آلومینیوم}$$

$$c_1 = 900\text{ J/kg}\cdot\text{C} = \text{گرمای ویژه آلومینیوم} \quad \text{و از جدول (۶-۱)}$$

و همین طور برای آب داریم :

$$m_2 = 250 \text{ g} = 0.25 \text{ kg}$$

$$\theta_2 = 22^\circ \text{C}$$

$$c_2 = 4200 \text{ J/kg}^\circ \text{C}$$

و دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیوم است را با  $\theta$  نمایش می‌دهیم. با استفاده از رابطه (۳-۶) مقدار گرمایی که آلومینیوم از دست می‌دهد تا به دمای تعادل  $\theta$  برسد برابر است با :

$$Q_1 = m_1 c_1 (\theta - \theta_1) = m_1 c_1 \Delta \theta_1$$

و مقدار گرمایی که آب می‌گیرد تا به دمای تعادل برسد برابر است با :

$$Q_2 = m_2 c_2 (\theta - \theta_2) = m_2 c_2 \Delta \theta_2$$

از قانون پایستگی انرژی داریم :

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

زیرا مجموعه آلومینیوم و آب نه به بیرون گرما داده و نه از بیرون گرما گرفته است. در نتیجه داریم :

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) = 0$$

$$0.14 \times 900 \times (\theta - 80) + 0.25 \times 4200 \times (\theta - 22) = 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود :

$$\theta = 28^\circ \text{C}$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژه  $c_1, c_2, c_3, \dots$  به جرم‌های  $m_1, m_2, m_3, \dots$  با دماهای اولیه  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$  را در تماس کامل با یک‌دیگر قرار دهیم برای یافتن دمای تعادل  $\theta$ ، می‌توانیم حاصل جمع گرماهایی را که هریک مبادله کرده‌اند، یعنی  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$  را برابر صفر قرار دهیم، یعنی :

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (5-6)$$

و از آنجا معادله‌ای به دست آوریم که دمای تعادل را از آن محاسبه کنیم. به عبارت دیگر :

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (6-6)$$

از معادله (۶-۶) می‌توانیم برای یافتن گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم. مثال بعد نحوه

محاسبه را نشان می‌دهد.

## مثال ۶-۶

در ظرف عایقی حاوی ۵۰۰ گرم آب  $2^{\circ}\text{C}$ ، یک قطعه مس  $100$  گرمی به دمای  $5^{\circ}\text{C}$  و یک قطعه فلز دیگری به جرم  $150$  گرم و به دمای  $62/5^{\circ}\text{C}$  که گرمای ویژه آن را نمی‌دانیم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل  $22^{\circ}\text{C}$  باشد، گرمای ویژه فلز را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

حل: با استفاده از داده‌های این مثال و جدول (۶-۱) داریم:

$$\text{جرم آب} = m_1 = 500 \text{ g} = 0/5 \text{ kg}, \theta_1 = 2^{\circ}\text{C}, c_1 = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{جرم مس} = m_2 = 100 \text{ g} = 0/1 \text{ kg}, \theta_2 = 5^{\circ}\text{C}, c_2 = 380 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{جرم فلز} = m_3 = 150 \text{ g} = 0/15 \text{ kg}, \theta_3 = 62/5^{\circ}\text{C}, c_3 = ?$$

$$\text{دمای تعادل} = \theta = 22^{\circ}\text{C}$$

با درج این داده‌ها در رابطه (۶-۶) داریم:

$$0/5 \times 4200 \times (22 - 2) + 0/1 \times 380 \times (22 - 5) +$$

$$0/15 \times c_3 \times (22 - 62/5) = 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود:

$$c_3 \approx 516 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

## تمرین ۶-۲

جسمی به جرم  $250$  گرم در دمای  $3^{\circ}\text{C}$  را به درون ظرف عایقی حاوی  $500$  گرم آب  $25^{\circ}\text{C}$  می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل  $21^{\circ}\text{C}$  باشد، گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین آب و ظرف چشم‌پوشی کنید.

## آزمایش ۶-۲

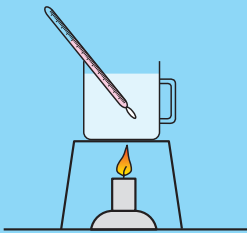
### گرماسنجی — تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج

وسایل لازم: ترازو، یک ظرف آب، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک فلاسک (یا ظرفی که به خوبی عایق بندی شده باشد)، دو عدد همزن، دو عدد دماسنج جیوه‌ای، یک عدد دستگیره



آزمایش زیر را به طور گروهی انجام دهید.

- ۱- ۲/۰ کیلوگرم آب ( $m_1$ ) درون فلاسک بریزید و همزن و دماسنج را درون آن قرار دهید و صبر کنید تا آب و فلاسک و همزن به تعادل گرمایی برسند.
- ۲- در این فاصله ۴/۰ کیلوگرم آب ( $m_2$ ) نیز درون ظرف شیشه‌ای نسوز بریزید.
- ۳- ظرف نسوز را مطابق شکل (۵-۶) روی سه پایه بالای چراغ قرار دهید.
- ۴- چراغ را روشن کنید و آب را تا دمای  $\theta_1$  گرم کنید.
- ۵- دمای آب درون فلاسک  $\theta_1$  و آب درون ظرف شیشه‌ای  $\theta_2$  را به کمک دماسنج‌هایی که در هریک از این ظرف‌ها قرار دارد اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس آب گرم درون ظرف شیشه‌ای نسوز را (به کمک دستگیره) به درون فلاسک بریزید.



شکل ۵-۶

۶- آب درون فلاسک را با همزنی که درون آن است هم بزنید و دمای تعادل ( $\theta$ ) را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

- ۷- اگر گرمای ویژه آب را با  $c_w$ ، گرمای ویژه فلاسک را با  $c_F$ ، گرمای ویژه همزن را با  $c_M$ ، گرمای ویژه دماسنج را با  $c_T$ ، جرم فلاسک را با  $M$ ، جرم همزن را با  $M'$  و جرم دماسنج را با  $M'$  نمایش دهیم با استفاده از معادله (۶-۶) خواهیم داشت:

$$m_1 c_w (\theta - \theta_1) + m_2 c_w (\theta - \theta_2) + M c_F (\theta - \theta_1) + M' c_M (\theta - \theta_1) + M' c_T (\theta - \theta_1) = 0$$

- دقت کنید که دمای اولیه فلاسک و همزن و دماسنج با دمای اولیه آب درون فلاسک برابر است و همین‌طور هم دمای تعادل برای همه آن‌ها یکسان است.
- ۸- از رابطه بالا داریم:

$$[M c_F + M' c_M + M' c_T] (\theta - \theta_1) + m_1 c_w (\theta - \theta_1) + m_2 c_w (\theta - \theta_2) = 0$$

- ۹- در این رابطه تنها عبارت داخل کروشه مجهول است، مقدار آن را به کمک اعدادی که در آزمایش به دست آورده‌اید محاسبه کنید. این کمیت را ظرفیت گرمایی مجموعه فلاسک و همزن و دماسنج درون آن می‌نامند و آن را با نماد  $A$  نمایش

می‌دهند.

مجموعهٔ فلاسک و همزن و دماسنج درون آن را معمولاً گرماسنج می‌نامند. با انجام این آزمایش شما ظرفیت گرمایی گرماسنج را که به صورت زیر تعریف می‌شود اندازه گرفته‌اید.

$$Mc_F + M'c_M + M'c_T = A$$

ظرفیت گرمایی گرماسنج

### آزمایش ۶-۳

#### تعیین گرمای ویژهٔ یک جسم

وسایل لازم: گرماسنج (فلاسک، همزن، دماسنج) با ظرفیت گرمایی معین که قبلاً اندازه گرفته‌اید، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک کلید)، یک همزن و یک دماسنج دیگر، ترازو، ظرف شیشه‌ای نسوز، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله‌بخش کن، یک انبرک، دستگیره

۱- ۲/۰ کیلوگرم آب ( $m_1$ ) درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکی شود.

۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید. ( $m_2$ )

۳- جسم فلزی را درون ظرف شیشه‌ای نسوز قرار دهید و مقداری آب درون آن بریزید و همزن و دماسنج اضافی را نیز درون ظرف قرار دهید.

۴- ظرف شیشه‌ای را مطابق شکل (۶-۵) روی چراغ بگذارید و چراغ را روشن کنید و آب درون ظرف را به کمک همزن به هم بزنید.

۵- پس از چند دقیقه چراغ را خاموش کنید و همزمان دمای آب درون گرماسنج ( $\theta_1$ ) و دمای آب گرمی را که جسم فلزی در آن است ( $\theta_2$ ) به کمک دماسنج‌های مربوط اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶- جسم داغ شده را توسط انبرک هرچه سریع‌تر به درون آب درون فلاسک بیندازید.

۷- آب درون فلاسک را با همزن به هم بزنید و دمای تعادل  $\theta$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۸- با استفاده از معادلهٔ (۶-۶) داریم:

$$A(\theta - \theta_1) + m_1c_{\text{آب}}(\theta - \theta_1) + m_2c_{\text{جسم}}(\theta - \theta_2) = 0$$

۹- در این رابطه تنها جسم مجهول است. مقدار آن را به کمک اعدادی که در آزمایش به دست آورده‌اید، محاسبه کنید.

## فعالیت ۲-۶

گرمای ویژه یک فلز یا مایع معلوم را اندازه بگیرید. مقداری را که به دست می‌آورید، با مقدار داده شده در جدول (۶-۱) مقایسه کنید. دلیل اختلاف بین عددی که شما به دست آورده‌اید و رقمی که در جدول درج شده چیست؟ موضوع را با همکلاسان خود به بحث بگذارید.

## ۲-۶ - حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۵ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. برای مثال  $H_2O$  هم به حالت جامد (یخ) و هم به حالت مایع (آب) و هم به حالت گاز (بخار آب) یافت می‌شود. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. هر تغییر حالت (در فشار ثابت) در دمای ثابتی صورت می‌گیرد که آن را دمای گذار می‌نامند. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراهند. علاوه بر این حجم و چگالی نیز با تغییر حالت تغییر می‌کند.

## فعالیت ۳-۶

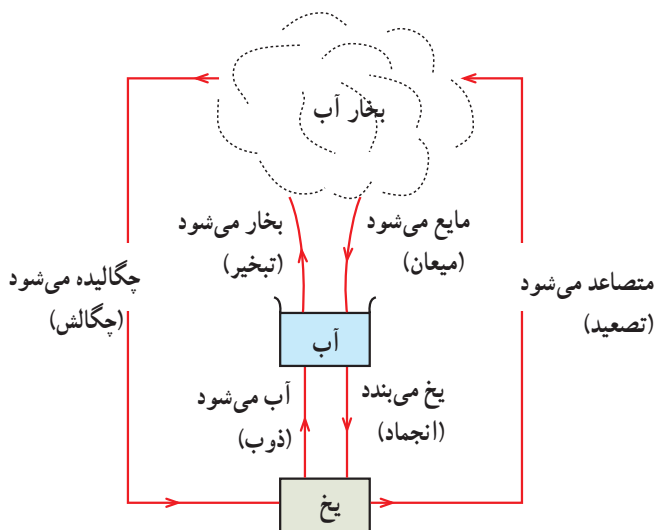
آزمایشی طراحی کنید و انجام دهید که در آن تغییر حجم آب به هنگام انجماد (یخ بستن) و یا تغییر حجم یخ به هنگام ذوب شدن (آب شدن) مشخص شود.

برای مثال در شکل (۶-۶) انواع تغییر حالت‌هایی که برای آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است.

تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر، تبدیل مایع به جامد را انجماد و تبدیل بخار به مایع را میعان می‌نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصعید و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد چگالش نام دارد.

برای مثال نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود (تصعید). در صبح‌های بسیار سرد زمستان برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است (چگالش).



شکل ۶-۶- انواع تغییر حالت های آب

در ادامه هر یک از تغییر حالت ها را به طور جداگانه بررسی می کنیم.

**ذوب:** پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما بدهیم، دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می شود (دما ثابت می ماند) و جسم شروع به ذوب شدن می کند (به مایع تبدیل می شود). این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد «دمای ذوب» یا «نقطه ذوب» می نامیم.

افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد سبب بالا رفتن نقطه ذوب آن می شود. در بعضی از جسم ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطه ذوب می شود. نقطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجه سلسیوس است.

## فعالیت ۶-۴

درباره علت دیرتر آب شدن برف روی قله کوه ها تحقیق کنید. نتیجه تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

عمل ذوب گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود.

گرمای نهان ذوب، گرمای نهان ویژه ذوب: گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود، بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد. از این رو به این گرما، گرمای نهان ذوب می‌گوییم. دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب خود رسیده است، آن را ذوب می‌کند.

گرمای نهان ویژه ذوب ( $L_F$ )<sup>۱</sup> یک جامد، برابر است با مقدار انرژی‌ای که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطه ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. یکای گرمای نهان ویژه در SI ژول بر کیلوگرم ( $J/kg$ ) است.

بنابراین گرمای نهان ذوب  $m$  کیلوگرم جامد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = mL_F \quad (7-6)$$

گرمای نهان ویژه ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادارها برای برخی از مواد در جدول (۲-۶) داده شده است.

جدول ۲-۶- نقطه ذوب و گرمای نهان ویژه ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه ذوب ( $^{\circ}C$ )	گرمای نهان ذوب ( $kJ/kg$ )
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
ازت	-۲۰۹	۲۵/۵
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۴
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

۱- زیرنویس F حرف اول واژه انگلیسی Fusion به معنای ذوب است.

## مثال ۷-۶

گرمای لازم برای ذوب ۱۰ گرم طلا را محاسبه کنید. فرض کنید که طلا در نقطه ذوب خود باشد.

حل: با استفاده از جدول (۶-۲) داریم:

$$L_F = 64 / 5 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$m = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}$$

بنابراین از رابطه (۶-۷) داریم:

$$Q = mL_F = 0.01 \times 64 / 5 \times 10^3 = 645 \text{ J}$$

مثبت بودن مقدار گرما نشان دهنده گرماگیر بودن عمل ذوب است.

## فعالیت ۵-۶

آزمایشی برای اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ طراحی کنید و آن را انجام دهید.

**انجماد:** فرآیند انجماد وارون فرآیند ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. اگر مایعی را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای انجماد یا نقطه انجماد خود می‌رسد، شروع به جامد شدن می‌کند. دمای نقطه ذوب یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه انجماد آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به یخ صفر درجه سلسیوس گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند. هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه انجماد منفی گرمای نهان ویژه ذوب است. به این ترتیب گرمای نهان انجماد  $m$  کیلوگرم مایع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -mL_F \quad (6-8)$$

علامت منفی نشان دهنده آن است که مایع به هنگام انجماد گرما از دست می‌دهد. جوشیدن و تبخیر: وقتی به مایعی گرما می‌دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت می‌ماند. مایع در این موقع به جوش می‌آید و تبدیل به بخار می‌شود. این دمای ثابت را «دمای جوش» یا «نقطه جوش» می‌نامند.

جدول ۳-۶ — نقطه جوش و گرمای نهان ویژه تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه جوش (°C)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیوم	-۲۶۹	۲۰/۹
هیدروژن	-۲۵۳	۴۵۲
ازت	-۱۹۶	۲۰۱
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۳
جیوه	۳۵۷	۲۷۲
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
گوگرد	۴۴۵	۳۲۶
سرب	۱۷۵۰	۸۷۱
قلع	۱۴۴۰	۵۶۱
نقره	۲۱۹۳	۲۳۳۶
طلا	۲۶۶۰	۱۵۷۸
مس	۱۱۸۷	۵۰۶۹

نقطه جوش هر مایع به جنس آن و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش آن می‌شود.

## فعالیت ۶-۶

علت سریع تر پخته شدن غذا در دیگ زودپز را با افراد گروه خود مورد بحث قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

گرمای نهان تبخیر و گرمای نهان ویژه تبخیر: گرمایی را که یک مایع در نقطه جوش خود می‌گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود گرمای نهان تبخیر می‌گویند.  
 گرمای نهان ویژه تبخیر ( $L_V$ )<sup>۱</sup> یک مایع، برابر است با مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از آن مایع در دمای نقطه جوش بدهیم تا به بخار در همان دما تبدیل شود. در SI یکای گرمای نهان ویژه تبخیر نیز همانند گرمای نهان ویژه ذوب ژول بر کیلوگرم است.

۱- حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.

بنابراین گرمای نهان تبخیر  $m$  کیلوگرم مایع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = mL_V \quad (9-6)$$

گرمای نهان ویژه تبخیر و نقطه جوش مایع‌های مختلف، متفاوت است. این مقادیرها برای برخی از مواد در جدول (۳-۶) داده شده است.

### مثال ۶-۸

یک کتری برقی را که  $1/6 \text{ kg}$  آب دارد روشن می‌کنیم، از لحظه آغاز جوشیدن، چه قدر انرژی برای تبدیل همه آب به بخار مصرف می‌شود و چه قدر طول می‌کشد تا کتری  $2/5$  کیلوواتی همه آب را تبخیر کند؟ (از اتلاف انرژی صرف نظر شود).  
حل: از جدول (۳-۶) برای آب داریم:

$$L_V = 2256 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$m = 1/6 \text{ kg}$$

انرژی مصرفی را از رابطه (۹-۶) به دست می‌آوریم.

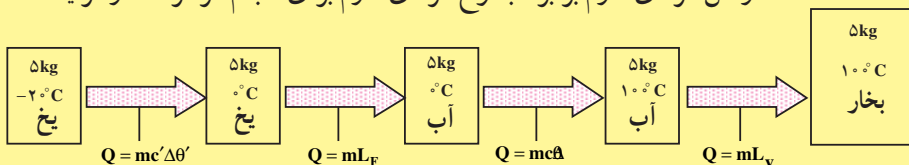
$$Q = 1/6 \times 2256 \times 10^3 = 3610 \times 10^3 \text{ J} = 3610 \text{ kJ}$$

با استفاده از رابطه  $P = \frac{Q}{t}$  داریم:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{3610 \times 10^3 \text{ J}}{2/5 \times 10^3 \text{ W}} = 1/44 \times 10^3 \text{ s}$$

### مثال ۶-۹

گرمای لازم برای تبدیل  $5 \text{ kg}$  یخ  $2^\circ\text{C}$  به بخار آب  $100^\circ\text{C}$  را حساب کنید.  
حل: شکل (۷-۶) مراحل تغییر یخ  $2^\circ\text{C}$  به بخار آب  $100^\circ\text{C}$  و رابطه مربوط به گرمای لازم برای هر تغییر را نشان می‌دهد.  
مقدار کل گرمای لازم برابر مجموع گرمای لازم برای انجام هر مرحله از فرآیند



شکل ۷-۶



است. با استفاده از جدول‌های (۱-۶) و (۲-۶) و (۳-۶) داریم:

$$Q_{\text{کل}} = mc_{\text{یخ}} \Delta T_{\text{یخ}} + mL_F + mc_{\text{آب}} \Delta T_{\text{آب}} + mL_V$$

$$= 5 \times 2100 \times [0 - (-20)] + 5 \times 334 \times 10^3 + 5 \times 4200 \times (100 - 0) + 5 \times 2256 \times 10^3$$

با انجام محاسبه به دست می‌آوریم:

$$Q = 1526 \times 10^4 \text{ J} = 15/26 \text{ MJ}$$

**میعان:** فرآیند میعان وارون فرآیند تبخیر، یعنی تبدیل بخار به مایع است. اگر مقداری بخار یک ماده را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای میعان یا «نقطه میعان» خود می‌رسد، شروع به مایع شدن می‌کند. دمای نقطه میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه جوش آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به آب صد درجه سلسیوس گرما دهیم شروع به جوشیدن می‌کند و نیز اگر در همان فشار از بخار آب صد درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به مایع شدن می‌کند. هر بخار به هنگام میعان همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه میعان منفی گرمای نهان ویژه تبخیر است. به این ترتیب گرمای نهان میعان  $m$  کیلوگرم بخار یک ماده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -mL_V \quad (10-6)$$

علامت منفی نشان‌دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد.

## مثال ۶-۱۰

یک لیوان شیشه‌ای بزرگ به جرم ۱۵ گرم حاوی  $20^\circ\text{C}$  آب  $20^\circ\text{C}$  است. چند قطعه یخ  $0^\circ\text{C}$ ، به جرم  $40^\circ\text{C}$  گرم به درون لیوان می‌اندازیم، دمای پایانی آب را حساب کنید. گرمای ویژه شیشه را  $360 \text{ J/kgK}$  بگیرید.

**حل:** با توجه به آن که مقدار گرمایی که یخ  $0^\circ\text{C}$  می‌گیرد تا به آب  $0^\circ\text{C}$  و سپس به آب در دمای تعادل تبدیل شود برابر با مقدار گرمایی است که لیوان شیشه‌ای و آب درون آن از دست می‌دهند تا از  $20^\circ\text{C}$  به دمای تعادل برسند. می‌توانیم با در نظر گرفتن  $m_1$  برای لیوان و  $m_2$  برای آب درون آن و  $m_3$  برای یخ، بنویسیم:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 L_F + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0 \quad (11-6)$$

با استفاده از داده‌های این مثال و جدول‌های (۱-۶ و ۲-۶) داریم :

$$m_1 = 15 \times 10^{-3} \text{ kg}, c_1 = \text{گرمای ویژه شیشه} = 360 \text{ J/kgK}, \theta_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$m_2 = \text{جرم آب درون لیوان} = 200 \text{ g} = 0.2 \text{ kg}, c_2 = 4200 \text{ J/kgK}$$

$$\theta_2 = \theta_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$m_3 = 400 \text{ g} = 0.4 \text{ kg}, L_F = \text{گرمای نهان ویژه ذوب یخ} = 334 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$c_3 = 4200 \text{ J/kgK} \quad \theta_3 = 0^\circ \text{C}$$

با درج این مقادیر در رابطه (۱۱-۶) و انجام محاسبه به دست می‌آوریم :

$$\theta = 3/5^\circ \text{C}$$

**تبخیر سطحی:** پارچه خیزی را روی سنگ فرش پهن کنید. پس از یکی دو ساعت می‌بینید کاملاً خشک شده است. آب آن کجا رفته است؟

پاسخ آن است که آب تبخیر شده است. تجربه‌هایی مانند این نشان می‌دهند که در سطح آزاد هر مایع همواره در هر دمایی عمل تبخیر روی می‌دهد. این پدیده را تبخیر سطحی می‌گویند. مایع در اثر تبخیر سطحی گرمای نهان تبخیر خود را از دست می‌دهد و در اثر آن دمایش پایین می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل‌های مختلفی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

## فعالیت ۶-۷

الف - بررسی کنید که تبخیر سطحی با افزایش دما و افزایش سطح مایع سریع‌تر صورت می‌گیرد یا کندتر؟

ب - با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه عامل یا عامل‌های دیگری را که بر آهنگ تبخیر سطحی اثر می‌گذارند پیدا کنید.

## فعالیت ۶-۸

تحقیق کنید و توضیح دهید چرا :

۱- با پوشیدن لباس‌های تر احساس سرما می‌کنید؟

۲- عرق کردن به خنک نگه داشتن بدن کمک می‌کند؟

۳- هنگامی که دوش می‌گیرید بخار آب روی شیشه پنجره حمام مایع می‌شود؟

## ۳-۶- اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم‌ها

اکثر اجسام چه جامد، چه مایع و چه گاز به هنگام افزایش دما انبساط می‌یابند، یعنی حجم آن‌ها افزایش می‌یابد و با کاهش دما حجمشان کاهش می‌یابد. این پدیده که در ساختن برخی وسیله‌ها مانند دماسنج‌ها و دماپاها مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند مشکل‌هایی در ساختن ماشین‌ها، پل‌ها، ساختمان‌ها و خط آهن ایجاد کند. مثال‌هایی از افزایش حجم در اثر افزایش دما را در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی دیده‌اید.

### فعالیت ۶-۹

توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل (۸-۶) نشان داده شده است پدیده انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.

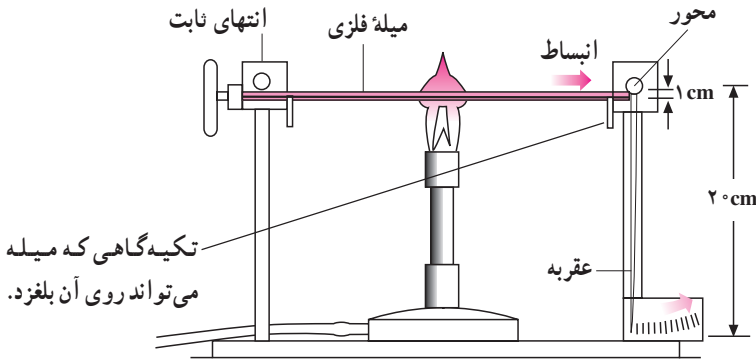


شکل ۸-۶

وقتی یک ورقه فلزی را گرم می‌کنیم حجم آن زیاد می‌شود، یعنی ضخامت و مساحت سطح آن هر دو زیاد می‌شوند. اگر ضخامت ورقه در مقایسه با ابعاد سطح آن ناچیز باشد، انبساط سطحی آن بهتر مشاهده می‌شود. همین‌طور هم درباره یک میله، اگر طول آن در مقایسه با قطر مقطع آن بسیار بزرگ‌تر باشد، انبساط طولی آن بهتر دیده می‌شود.

**انبساط طولی:** برای دیدن انبساط طولی یک میله فلزی می‌توان از دستگاهی که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است، استفاده کرد. وقتی میله فلزی گرم و منبسط می‌شود، عقربه را حول محور می‌چرخاند و انتهای عقربه انبساط طولی میله را چند بار (در شکل ۲۰ بار) بزرگ‌تر نشان می‌دهد و اندازه‌گیری دقیق آن را میسر می‌سازد.

با اندازه‌گیری انبساط طولی میله‌های از جنس‌های مختلف درمی‌یابید که اندازه انبساط میله‌های فلزی از جنس‌های مختلف با یک‌دیگر متفاوت است. برای محاسبه انبساط طولی کمیتی به نام ضریب انبساط طولی به صورت زیر تعریف می‌کنیم و آن را با  $\alpha$  نمایش می‌دهیم.



شکل ۶-۹

ضریب انبساط طولی ( $\alpha$ ) برابر است با افزایش طول واحد طول ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین.

انبساط طولی یا تغییر طول ( $\Delta L$ ) یک میله از جنس معین به دو عامل بستگی دارد:

– طول اولیه میله ( $L_1$ ).

– مقدار تغییر دما ( $\Delta T$ ).

هنگامی که دمای میله‌ای به طول  $L_1$  به اندازه  $\Delta T$  افزایش یابد، طول آن به اندازه  $\Delta L$  افزایش

می‌یابد. به این ترتیب انبساط یا افزایش طول واحد طول میله برای افزایش دمای  $\Delta T$  برابر  $\frac{\Delta L}{L_1}$

خواهد بود. افزایش طول واحد طول میله برای افزایش دمای یک کلوین برابر می‌شود با  $\frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$ .

این همان ضریب انبساط طولی میله ( $\alpha$ ) است.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad (12-6)$$

یکای ضریب انبساط طولی در SI، بر کلوین ( $\frac{1}{K}$ ) یا بر درجه سلسیوس ( $\frac{1}{^\circ C}$ ) نام دارد.

مقدار افزایش طول  $\Delta L$  را می‌توان از رابطه (۱۲-۶) به صورت زیر به دست آورد:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \quad (13-6)$$

ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف با هم تفاوت دارند. ضریب انبساط طولی برخی از

ماده‌ها در جدول (۴-۶) داده شده است. توجه کنید که این مقادارها بسیار کوچکند. ولی همین

مقدارهای کوچک هم اثرهای قابل توجهی در ساختمان‌ها و دستگاه‌های مختلف دارد.

جدول ۴-۶- ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی ( $\frac{1}{K}$ )
آلمینیوم	$23 \times 10^{-6}$
آجر	$9 \times 10^{-6}$
مس	$17 \times 10^{-6}$
الماس	تقریباً صفر
بتون	$12 \times 10^{-6}$
آهن	$12 \times 10^{-6}$
کوارتز	$0.4 \times 10^{-6}$
روی	$31 \times 10^{-6}$
برنج	$19 \times 10^{-6}$

مثال ۶-۱۱

انبساط طولی یک پل بتونی به طول  $100\text{ m}$  را هنگامی که دما به اندازه  $20^\circ\text{C}$  افزایش یابد حساب کنید.

حل: از جدول (۴-۶) داریم:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

با استفاده از رابطه (۶-۱۳)، داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 100 \times 20 = 2/4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta L = 2/4 \text{ cm}$$

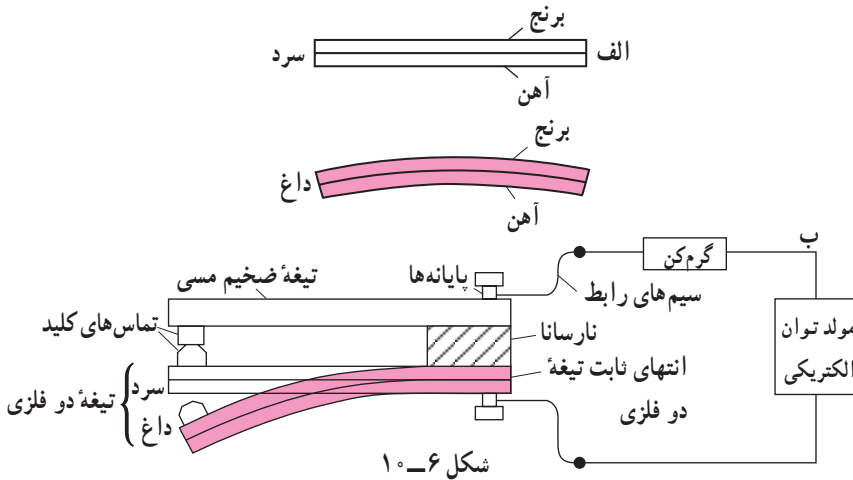
اگر در ساختمان پل پیش‌بینی فضای لازم برای این انبساط طولی نشده باشد، همین مقدار انبساط می‌تواند باعث تخریب پل گردد.

فناوری و کاربرد



دمپا (ترموستات): دمپا از دو تیغه از فلزهای متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا میخ پرچ شده‌اند. در دمای کم محیط، دمپا، مدار الکتریکی دستگاه گرمکن را، مطابق شکل (۶-۱۰) کامل می‌کند. به علت عبور

جریان الکتریکی از گرمکن الکتریکی گرما ایجاد می‌شود و دمای محیط بالا می‌رود. همان‌طور که در جدول (۶-۴) مشاهده می‌کنید ضریب انبساط طولی برنج بزرگ‌تر از آهن است. در نتیجه برنج بیش‌تر منبسط می‌شود و دمایا به طرف آهن خم می‌شود. وقتی دما به مقدار معینی رسید، تماس دمایا با تیغه مسی قطع شده و مدار الکتریکی باز می‌شود. وقتی دوباره دما کم شود، دمایا به حالت اول برمی‌گردد و مدار بار دیگر متصل می‌شود. در نتیجه وجود دمایا در مدار گرمکن الکتریکی می‌تواند دما را تقریباً ثابت نگه دارد.



## فعالیت ۶-۱۰



شکل (۶-۱۱) دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دو فلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

شکل ۶-۱۱

**انبساط سطحی:** برای محاسبه انبساط سطحی هم می‌توانیم به روشی مشابه برای هر ماده یک ضریب انبساط سطحی تعریف کنیم.

ضریب انبساط سطحی برابر است با افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد به ازای افزایش دمای یک کلوین. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط سطحی یک جسم تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی آن است. یکای ضریب انبساط سطحی نیز بر کلوین  $(\frac{1}{K})$  یا بر درجه سلسیوس  $(\frac{1}{C})$  است.

اگر سطحی به مساحت A با افزایش دمای  $\Delta T$ ، افزایش مساحتی برابر  $\Delta A$  پیدا کرده باشد،

داریم:

$$\left(\frac{1}{K}\right) = \alpha \frac{\Delta A}{A_1 \Delta T} \quad (14-6)$$

و یا:

$$\Delta A = \alpha A_1 \Delta T \quad (15-6)$$

انبساط حجمی: برای انبساط حجمی نیز می‌توانیم ضریب انبساط حجمی را تعریف کنیم: ضریب انبساط حجمی یک ماده نیز برابر است با افزایش حجم واحد حجم ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین. یکای ضریب انبساط حجمی نیز بر کلوین  $\left(\frac{1}{K}\right)$  یا بر درجه سلسیوس  $\left(\frac{1}{C}\right)$  است. ضریب انبساط حجمی را معمولاً با  $\beta$  نشان می‌دهند. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی یک جامد تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. یعنی  $\beta = 3\alpha$ . در این جا نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} \quad (16-6)$$

و یا:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \quad (17-6)$$

### مثال ۶-۱۲

ابعاد یک شمش آلومینیومی در دمای  $10^\circ C$  برابر  $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 20\text{cm}$  است حجم این شمش را در دمای  $90^\circ C$  حساب کنید.  
حل: با استفاده از جدول (۴-۶) داریم:

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} \frac{1}{C} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{C}$$

$$V_1 = 5 \times 10 \times 20 \text{cm}^3 = 1000 \text{cm}^3$$

$$\Delta T = 90 - 10 = 80^\circ C$$

از رابطه (۱۷-۶) داریم:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 69 \times 10^{-6} \times 1000 \times 80 = 5.52 \text{cm}^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \Delta V + V_1 = 1000 + 5.52 = 1005.52 \text{cm}^3$$

انبساط مایع‌ها: بیشتر مایع‌ها نیز با افزایش دما، افزایش حجم پیدا می‌کنند. انبساط مایع‌ها اساس کار دماسنج‌های جیوه‌ای و الکی را تشکیل می‌دهد. ضریب انبساط حجمی چند مایع مختلف در جدول (۶-۵) داده شده است.

## آزمایش ۶-۴

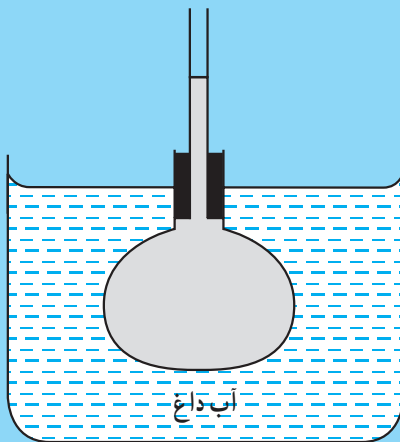
وسایل لازم: یک بالون شیشه‌ای، مقداری آب که با جوهر رنگی شده باشد، درپوش سوراخ‌دار همراه با یک لوله شیشه‌ای بلند با مجرای بسیار نازک، چراغ الکی، سه پایه و شعله پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای بزرگ نسوز

۱- بالون شیشه‌ای را از آب رنگی پر کنید و درپوش همراه با لوله شیشه‌ای بلند را مطابق شکل (۶-۱۲) طوری در دهانه بالون جای دهید که هیچ هوایی در بالون نباشد و آب مقداری در لوله بالا بیاید. ارتفاع آب در لوله شیشه‌ای را با علامت مشخص کنید.

۲- ظرف شیشه‌ای بزرگ را پر از آب کرده روی شعله چراغ قرار دهید تا آب آن گرم شود.

۳- بالون شیشه‌ای را مطابق شکل ۶-۱۲ درون آب فرو برید و نحوه تغییر ارتفاع آب در لوله شیشه‌ای را مشاهده کنید.

۴- مشاهده‌های این آزمایش را با توجه به انبساط ظرف (بالون شیشه‌ای) و انبساط آب توضیح دهید.



شکل ۶-۱۲- انبساط مایع‌ها

در آزمایش (۶-۴) اگر ارتفاع مایع درون لوله باریک (به مساحت مقطع  $A$ ) از مقدار  $h_1$  قبل از گذاشتن بالون در آب داغ به مقدار  $h_2$  در انتهای آزمایش رسیده باشد، مایع ظاهراً به اندازه  $\Delta V = (h_2 - h_1)A$  افزایش حجم پیدا کرده است، که به آن انبساط ظاهری مایع می‌گویند.



## فعالیت ۱۱-۶

آیا واقعاً مایع به اندازه انبساط ظاهری خود افزایش حجم پیدا کرده است؟ توضیح دهید. اگر پاسخ شما به این سؤال منفی است تحقیق کنید که انبساط واقعی مایع‌ها را چگونه اندازه می‌گیرند.

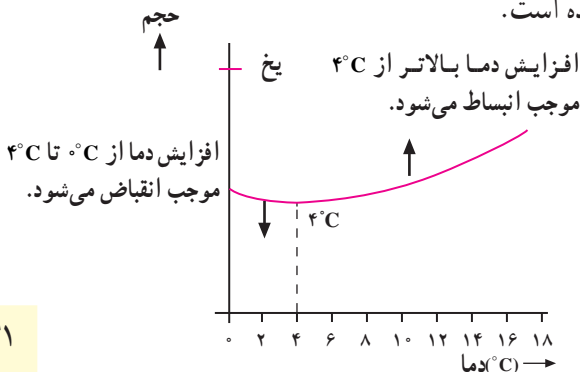
جدول ۵-۶- ضریب انبساط حجمی چند مایع

ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
اتر معمولی	$1/6 \times 10^{-3}$
الکل اتیلیک	$1/1 \times 10^{-3}$
بنزن	$1/2 \times 10^{-3}$
گلیسرین	$0/5 \times 10^{-3}$
جیوه	$0/18 \times 10^{-3}$

**تغییرات چگالی با دما:** افزایش دما تغییری در جرم جسم ایجاد نمی‌کند ولی حجم آن را (به جز در مورد های استثنا) افزایش می‌دهد. از این رو انتظار داریم که چگالی  $\rho = \frac{m}{V}$  با افزایش دما تغییر کند. با توجه به این که با افزایش دما،  $V$  در مخرج کسر افزایش می‌یابد، پس نتیجه می‌گیریم که افزایش دما باعث کاهش چگالی می‌شود.

هنگامی که مایع (یا گازی) را در یک نقطه گرم می‌کنیم، چگالی قسمت گرم شده کم می‌شود (کمتر از مایع (یا گاز) اطراف آن نقطه). در نتیجه چون قسمت گرم شده چگالی کم‌تری دارد به بالا رانده می‌شود و جای خود را به مایع (یا گاز) سردتر می‌دهد.

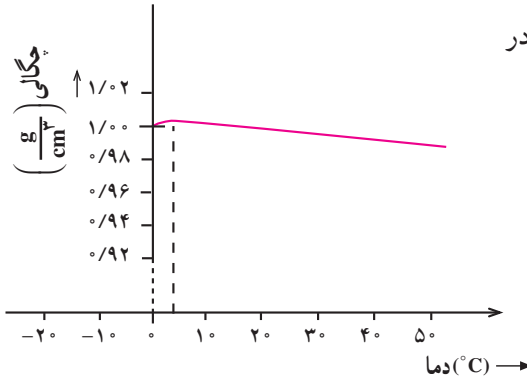
**انبساط غیرعادی آب:** حجم بیش‌تر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش می‌یابد و با رسیدن به نقطه انجماد این کاهش حجم بیش‌تر می‌شود. ولی آب رفتاری متفاوت دارد. به این ترتیب که آب از  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $4^{\circ}\text{C}$  مانند هر مایع معمولی با کاهش دما کاهش حجم پیدا می‌کند. ولی از  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $0^{\circ}\text{C}$  این رفتار عوض می‌شود و کاهش دما باعث افزایش حجم آب می‌شود. تغییرات حجم آب نسبت به دما در شکل (۶-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۳- تغییر حجم آب و یخ

## تمرین ۶-۵

آب در چه دمایی کمترین حجم را دارد؟ در این دما چگالی بیشترین مقدار خود را دارد یا کمترین آن را؟



تغییرات چگالی آب نسبت به دما در شکل (۶-۱۴) نشان داده شده است.

شکل ۶-۱۴ تغییرات چگالی آب با دما

## فعالیت ۶-۱۲

تحقیق کنید که :

- الف - این نوع تغییر غیرعادی حجم و چگالی آب چه تأثیری بر نحوه قرار گرفتن لایه‌های آب با دماهای متفاوت در اقیانوس‌ها دارد؟
- ب - این نحوه قرار گرفتن چه تأثیری بر محیط زیست اقیانوس‌ها داشته است؟

## ۶-۴ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارتند از همرفتی، رسانش و تابش. در ادامه به بررسی ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم. ولی باید گفته شود که در هر فرآیند انتقال گرما، هر سه این ساز و کارها می‌توانند دخالت داشته باشند.

## فعالیت ۶-۱۳

مبحث رسانش گرما را از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بخوانید و آن را در چند سطر خلاصه بنویسید.

## رسانش

با انجام این فعالیت به یاد آورده‌اید که رسانش گرما در مواد مختلف متفاوت است، از ماده‌های عایق مخصوص در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از شارش برون‌سوی گرما در زمستان و شارش درون‌سوی آن در تابستان جلوگیری کنند. اکنون می‌دانید که فلزها رساناهای خوب گرما هستند.

در حالی که ماده‌هایی از قبیل شیشه، چوب، آزیست، آجر و جز این‌ها، رساناهای چندان خوبی نیستند. برای محاسبه آهنگ شارش گرما در یک ماده (یعنی مقدار گرمایی که در واحد زمان از هر مقطع فرضی در آن می‌گذرد)، میله‌ای به طول  $L$  و به سطح مقطع  $A$  از یک ماده معین در نظر می‌گیریم. فرض کنید که یک سر این میله (سر داغ) را در دمای ثابت  $\theta_1$  (نسبتاً زیاد) و سر دیگر آن (سر سرد) را در دمای ثابت  $\theta_2$  (نسبتاً کم) قرار داده باشیم. آهنگ شارش گرما به عامل‌های زیر بستگی دارد:

۱- اختلاف دما:  $\theta_1 - \theta_2 = \Delta$  هر چه اختلاف دما بیش‌تر باشد، گرما با آهنگ بالاتری در میله شارش می‌کند.

۲- طول میله: هر چه طول میله بیش‌تر باشد، آهنگ شارش گرما کندتر می‌شود.

۳- سطح مقطع میله: هر چه سطح مقطع میله بیش‌تر باشد آهنگ شارش گرما بیش‌تر می‌شود. در نتیجه:  $Q$ ، گرمایی که در  $t$  ثانیه در یک میله شارش می‌کند برابر است با:

$$Q = K \frac{At\Delta}{L} \quad (18-6)$$

$A$  در این معادله مساحت سطح مقطع میله و  $L$  طول آن است.  $\Delta$  اختلاف دمای دو سر میله است. ثابت تناسب  $K$  رسانندگی گرمایی نام دارد.

یکای رسانندگی گرمایی  $J/s.m.K$  یا  $W/m.K$  است.

رسانندگی گرمایی چند ماده مختلف در جدول (۶-۶) درج شده است.

جدول ۶-۶ رسانندگی گرمایی ماده‌های مختلف

رسانندگی گرمایی (J/s.m.K)	ماده	رسانندگی گرمایی (J/s.m.K)	ماده
۸۲	آهن	۳۵	سرب
۴۱۸	نقره	۱	شیشه
۰/۰۲۴	هوا	۰/۰۹	پنبه نسوز
~۰/۶	آجر	۰/۰۴	آب
~۰/۰۸	چوب	۲/۲	یخ
۴۰۰	مس	۰/۰۳	چوب پنبه
		۲۳۸	آلومینیوم

## مثال ۶-۱۳

یک سر یک میله آهنی ۳ متری را در آب جوش و سر دیگر آن را در یک مخلوط آب و یخ قرار می‌دهیم. اگر شعاع مقطع میله ۲ سانتی‌متر باشد، چه مقدار انرژی در هر دقیقه از طریق رسانش در میله منتقل می‌شود؟

حل: مساحت سطح مقطع میله برابر است با:

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.02)^2 \approx 1.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

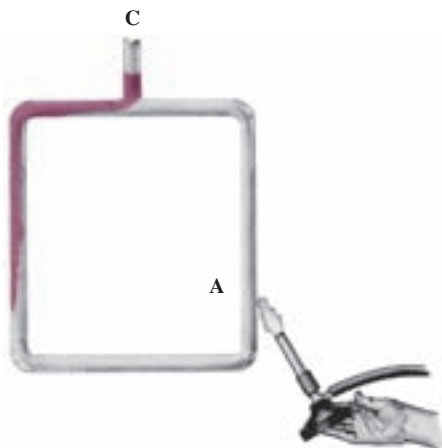
با به کار بردن معادله (۶-۱۸) و با استفاده از مقدار K برای آهن از جدول

(۶-۶) داریم:

$$Q = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{82 \times 1.26 \times 10^{-3} \times 60 \times 100}{3} \approx 207 \text{ J}$$

همرفتی: در مبحث انبساط مایع‌ها دیدیم که اگر در یک نقطه درون مایعی به آن گرما بدهیم، دمای آن نقطه بالا می‌رود و با افزایش دما حجم مایع در اطراف آن نقطه زیاد و چگالی کم می‌شود. کم شدن چگالی باعث بالا رفتن مایع با دمای زیادتر شده و مایع با دمای کم‌تر جای آن را می‌گیرد. این حرکت مایع باعث انتقال گرما به همه نقاط ظرف می‌شود.

جریان همرفتی را می‌توانیم به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش دهیم. لوله شیشه‌ای مستطیلی شکلی را که در شکل (۶-۱۵) نشان داده شده است پر از آب می‌کنیم و با یک چراغ الکلی یا گازی آن را در نقطه A گرم می‌کنیم. اگر چند قطره مایع رنگی از نقطه C به درون لوله بریزیم، حرکت مایع را به خوبی می‌توانیم مشاهده کنیم. همراه با این حرکت، مایع در همه جای لوله گرم می‌شود.



شکل ۶-۱۵- نمایش جریان همرفتی

جریان همرفتی در هوا نیز وجود دارد. در یک روز آفتابی زمین و صخره‌ها با دریافت انرژی از نور خورشید گرم می‌شوند و دمای لایه هوای مجاور خود را زیاد می‌کنند. هوای با دمای زیادتر به بالا می‌رود و هوای با دمای کم‌تر جای آن را می‌گیرد. این جریان هوای رو به بالا در برخی نقاط می‌تواند بسیار شدید باشد.

## فعالیت ۶-۱۴

درباره جهت وزش نسیم از خشکی به طرف دریا و برعکس در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

### مطالعه آزاد

وارونگی هوا: در بعضی شرایط خاص بین زمین و لایه هوای گرم‌تر که معمولاً همراه با دود و آلودگی‌های دیگر هوای شهری به بالا صعود کرده است، یک لایه هوای سرد قرار می‌گیرد. در این وضعیت لایه آلوده و با دمای زیادتر، به دلیل وجود آلاینده‌ها در آن قسمت عمده انرژی خورشید را می‌گیرد و مانع نفوذ آن به لایه ساکن زیرین می‌شود. در نتیجه هوای آلوده شهری دیگر امکان بالارفتن پیدا نمی‌کند. این پدیده را وارونگی هوا می‌نامند.

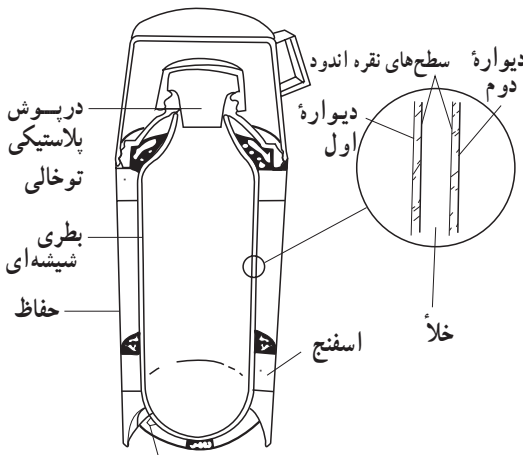
این پدیده اثرهای زیان‌باری بر سلامتی افراد دارد. کودکان، سالمندان و کسانی که از بیماری‌های تنفسی رنج می‌برند در چنین شرایطی بهتر است درون خانه‌ها بمانند.

تابش: همه ما تجربه گرم شدن در نور خورشید را داریم. این نور برای رسیدن به ما از خلأ می‌گذرد. این نوع انتقال گرما را که نیاز به محیط مادی ندارد، تابش می‌نامند.

سرعت انتقال گرما از طریق تابش بسیار زیاد است. اگر در مقابل شعله بایستید، گرمای آتش را روی پوست خود احساس می‌کنید. در این هنگام، اگر شخصی بین شما و شعله قرار گیرد، در همان لحظه که شعله پنهان می‌شود، احساس گرما روی پوست شما نیز از بین می‌رود و باز هنگامی که شخص کنار رود احساس گرما با همان سرعت بازمی‌گردد.

همه جسم‌ها، در حال تابش از سطح خود هستند. در نتیجه همه جسم‌ها تابش جسم‌های دیگر را که در اطراف آنها قرار دارند دریافت می‌کنند. از این تابش دریافتی بخشی را جذب می‌کنند (که باعث زیادتر شدن دمای آن‌ها می‌شود) و بخش دیگری را باز می‌تابانند. آن جسم‌هایی که سطح صیقلی‌تری دارند بازتابش بیش‌تری انجام می‌دهند و بخش کم‌تری از تابش دریافتی را جذب می‌کنند.

فلاسک خلأ: برای آن که چای یا نوشیدنی در فلاسک داغ بماند، باید انتقال گرما از آن به محیط اطراف، از هر سه طریق همرفتی، رسانش و تابش به حداقل برسد. خلأ بین دو دیواره شیشه‌ای بطری، از رسانش گرما از دیواره‌های فلاسک به طور کامل جلوگیری می‌کند. درپوش چوب پنبه‌ای یا پلاستیکی توخالی نیز حاوی هواست که رسانای ضعیف گرماست. در خلأ بین دو دیواره شیشه‌ای جریان همرفتی نیز وجود ندارد، تنها هنگامی که درپوش فلاسک برداشته می‌شود، جریان همرفتی می‌تواند باعث



نقطه مهر و موم که هوا از آنجا تخلیه شده است.

شکل ۶-۱۶

انتقال گرما شود. جلوگیری از تابش گرما از همه مشکل‌تر است، زیرا این تابش می‌تواند از خلأ بین دو دیواره بگذرد. پوشش نقره‌ای روی دیواره‌های شیشه‌ای بطری باعث کاهش انتقال گرما از طریق تابش می‌شود.

## فعالیت ۶-۱۵

پاسخ دهید که چرا:

- ۱- در لباس‌های آتش‌نشانی از پوشش‌های فلزی براق استفاده می‌شود؟
- ۲- هنگامی که در یخچال را باز می‌کنید، هوای سرد از پایین آن بیرون می‌آید؟
- ۳- در کشورهای با آب و هوای گرم، رنگ سفید برای نمای بیرون خانه‌ها مناسب‌تر است؟
- ۴- در زمستان وقتی با پاهای برهنه روی کف سنگی یا سیمانی راه می‌روید، پاهای شما احساس سرما می‌کند، اما وقتی روی کف اتاق با کف پوش چوبی (با همان دما) راه می‌روید احساس سرما نمی‌کنید؟

## ۶-۵- قانون گازها

دیدیم که گازها هم مانند مایع‌ها و جامدها با زیاد شدن دما افزایش حجم پیدا می‌کنند. اگر بخواهیم این افزایش حجم صورت نگیرد باید فشار بیش‌تری بر گاز وارد کنیم. دانشمندانی چون بویل، ماریوت، شارل و گئی لوساک با انجام آزمایش‌های متعدد و دقیق، رابطه‌ی بین حجم و فشار، حجم و دما، فشار و دمای گازها را مورد بررسی قرار دادند. پیامد این بررسی‌ها را می‌توان چنین بیان کرد:

برای مقدار معینی از یک گاز کامل، کمیت  $\frac{PV}{T}$  یعنی حاصل ضرب فشار گاز در حجم آن تقسیم بر دمای گاز بر حسب کلون همواره ثابت است. یعنی اگر در یک فرآیند، حجم و فشار و دمای مقدار معینی از یک گاز کامل را از  $V_1$  و  $P_1$  و  $T_1$  به  $V_2$ ،  $P_2$  و  $T_2$  برسانیم داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (۶-۱۹)$$

دما در این رابطه برحسب کلون است. یکاهای فشار در دو طرف رابطه و همین‌طور یکاهای حجم در دو طرف باید یکسان باشند.

گازهای واقعی معمولاً به‌طور کامل از این قانون پیروی نمی‌کنند. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که رفتار یک گاز واقعی، هرچه فشار آن کم‌تر باشد، بیش‌تر به رفتار گاز کامل نزدیک است. گازهای واقعی در دماهای کم‌تر از دمای نقطه‌ی میعان دیگر به حالت گاز نیستند و مایع می‌شوند.

### مثال ۶-۱۴

حجم استوانه‌ی موتور یک اتومبیل  $۱۲\text{ cm}^3$  است. این استوانه حاوی مخلوطی از هوا و بنزین در فشار یک اتمسفر است. اکنون اگر حجم استوانه را در دمای ثابت به  $۱۵\text{ cm}^3$  برسانیم، فشار آن چه قدر می‌شود؟

$$T_1 = T_2 \quad \text{حل: چون دما ثابت است داریم:}$$

در نتیجه رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی‌آید:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (۶-۲۰)$$

(این رابطه را حدود ۳۵ سال پیش بویل انگلیسی و ماریوت فرانسوی به‌طور مستقل از یک‌دیگر به‌دست آوردند و به قانون بویل - ماریوت مشهور است.)

در این مثال داریم :

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$V_1 = 120 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = ?$$

$$V_2 = 15 \text{ cm}^3$$

در نتیجه با درج در معادله (۶-۲) داریم :

$$1 \times 120 = P_2 \times 15$$

با انجام محاسبه به دست می آوریم :

$$P_2 = 8 \text{ atm}$$

### مثال ۶-۱۵

راننده‌ای فشار هوای درون تایر اتومبیل خود را در صبح یک روز سرد که دمای هوا  $3^\circ\text{C}$  - است، روی  $2/7$  آتمسفر تنظیم می‌کند. اگر او به منطقه گرم‌تری سفر کند به طوری که وقتی به مقصد می‌رسد دمای هوا  $27^\circ\text{C}$  باشد، فشار هوای درون تایر چه قدر است؟

حل: در این مثال حجم تایر ثابت مانده است، یعنی :

$$V_1 = V_2$$

در نتیجه رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (۶-۲۱)$$

با استفاده از داده‌های مثال داریم :

$$P_1 = 2/7 \text{ atm}$$

$$T_1 = 273 - 3 = 270 \text{ K}$$

$$P_2 = ?$$

$$T_2 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

با درج در معادله (۶-۲۱) داریم :

$$\frac{2/7}{270} = \frac{P_2}{300}$$

با انجام محاسبه به دست می آوریم :

$$P_2 = 3 \text{ atm}$$



## مثال ۶-۱۶

دمای یک مقدار معین گاز اکسیژن را در فشار ثابت از صفر سلسیوس به  $273^{\circ}\text{C}$  می‌رسانیم، اگر حجم گاز در ابتدا برابر  $2 \times 10^3 \text{ cm}^3$  باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

حل: در این آزمایش فشار ثابت مانده است، در نتیجه داریم:

$$P_1 = P_2$$

بنابراین رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی‌آید:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (6-22)$$

(این رابطه را حدود  $20^{\circ}$  سال پیش شارل و گی لوساک به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون شارل - گی لوساک معروف است.)

با استفاده از داده‌های این مثال داریم:

$$T_1 = 0 + 273 = 273\text{K} \quad V_1 = 2 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$T_2 = 273 + 273 = 546\text{K} \quad V_2 = ?$$

با درج در معادله (۶-۲۲) داریم:

$$\frac{2 \times 10^3}{273} = \frac{V_2}{546}$$

با انجام محاسبه به دست می‌آوریم:

$$V_2 = 4 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

## فعالیت ۶-۱۶

با استفاده از تجهیزاتی که در آزمایشگاه فیزیک دبیرستان خود دارید، آزمایشی را طراحی کنید که در آن قانون گازها یا یکی از صورت‌های خاص آن مورد تحقیق قرار گیرد. آزمایش را به طور گروهی انجام دهید. گزارش کار آن را بنویسید و شرح دهید که برای کم کردن خطاها چه تمهیداتی باید اعمال کرد.

## تمرین‌های فصل ششم

۱- چگونگی درجه‌بندی سلسیوس را با استفاده از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بنویسید.

۲- دماهای زیر را بر حسب درجه سلسیوس مشخص کنید :

الف -  $^{\circ}\text{K}$       ب -  $273\text{K}$       پ -  $546\text{K}$

۳- هنگامی که با دماسنج جیوه‌ای دمای آبی را اندازه می‌گیرید، موقع خواندن دما، باید مخزن دماسنج تماماً درون آب باشد، ولی وقتی پزشک دمای بدن بیمار را اندازه می‌گیرد، دماسنج را از محل تماس با بدن بیمار دور می‌کند، بعد دما را می‌خواند. چه تفاوتی بین دماسنج پزشکی و دماسنج جیوه‌ای معمولی وجود دارد که این روش اندازه‌گیری را توجیه می‌کند؟

۴- هنگامی که ۱ کیلوگرم آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب  $3^{\circ}\text{C}$  بالا می‌رود.

الف - توان متوسط گرمکن را حساب کنید.

ب- اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن را چه قدر افزایش خواهد داد؟

۵- دمای یک قطعه فلز  $6/0$  کیلوگرمی را توسط یک گرمکن  $5^{\circ}$  واتی در  $11^{\circ}$  ثانیه از  $18^{\circ}\text{C}$

به  $38^{\circ}\text{C}$  رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را ارائه می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیش‌تر است یا کم‌تر؟ توضیح دهید.

۶- چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجه یک آزمایش اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی گرماسنج

و یا یک آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیش‌تری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

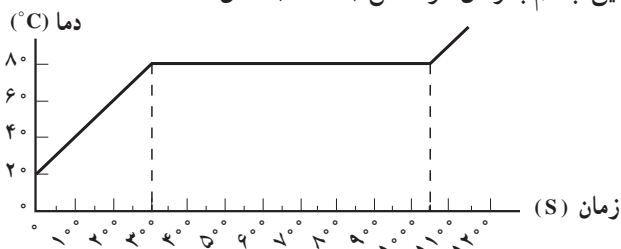
۷- گرماسنجی به جرم  $200$  گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه  $80$  گرمی از یک ماده

نامعلوم همراه با  $50$  گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. دمای این مجموعه  $3^{\circ}\text{C}$  است.

در این هنگام  $100$  گرم آب  $7^{\circ}\text{C}$  به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل  $52^{\circ}\text{C}$  می‌شود. گرمای ویژه ماده نامعلوم را محاسبه کنید.

۸- به یک جسم جامد  $5/0$  کیلوگرمی توسط یک گرمکن  $100$  واتی گرما می‌دهیم. منحنی

تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل (۶-۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۷

الف - چه زمانی طول می کشد تا این جامد به نقطه ذوب خود برسد؟

ب - با استفاده از نمودار، گرمای ویژه جامد و گرمای نهان ویژه ذوب آن را محاسبه کنید.

۹- گرمکنی در هر ثانیه  $20^\circ$  ژول انرژی فراهم می کند. چه مدت زمان طول می کشد تا این

گرمکن  $1/8$  کیلوگرم آب  $10^\circ\text{C}$  را به بخار آب  $10^\circ\text{C}$  تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی چه مقدار یخ  $0^\circ\text{C}$  را به آب  $0^\circ\text{C}$  تبدیل می کند؟

۱۰- یک گرمکن که با آهنگ ثابت  $50^\circ$  وات انرژی تولید می کند، به طور کامل در یک قطعه

یخ بزرگ با دمای  $0^\circ\text{C}$  گذاشته شده است. در مدت  $1320$  ثانیه،  $2$  کیلوگرم آب با دمای  $0^\circ\text{C}$  تولید می شود. گرمای نهان ویژه ذوب یخ را حساب کنید.

۱۱- یک گرمکن  $50^\circ$  وات غوطه ور در آب به طور کامل در  $10^\circ$  گرم آب درون یک گرماسنج

قرار داده می شود.

الف - این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از  $20^\circ\text{C}$  به  $25^\circ\text{C}$

می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب - چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از  $25^\circ\text{C}$  به نقطه جوش

$(100^\circ\text{C})$  برسد؟

پ - چه مدت طول می کشد تا  $20$  گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۱۲- با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی در جدول (۴-۶)، انبساط تیرآهنی با طول

اولیه  $25$  متر، در اثر افزایش دمای از  $1^\circ\text{C}$  تا  $30^\circ\text{C}$  را حساب کنید.

۱۳- با استفاده از جدول (۴-۶) حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می شود که طول

یک خط کش  $5/100$  متری برنجی  $1/1000$  میلی متر افزایش یابد.

۱۴- در روزی که دما  $0^\circ\text{C}$  است برای پنجره ای، شیشه ای به طول  $6\text{m}$  انداخته شد. برای

پیش بینی انبساط شیشه، فاصله کوچکی به اندازه  $1/35$  میلی متر بین شیشه و چارچوب منظور شد.

روزی که دما  $25^\circ\text{C}$  است مشاهده می شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم پوشی از انبساط

چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۵- از شیشه پنجره ای به عرض  $2$  متر و ارتفاع  $1$  متر و ضخامت  $4\text{mm}$  :

الف - در یک روز زمستانی که دمای بیرون  $0^\circ\text{C}$  و دمای درون اتاق  $20^\circ\text{C}$  است چه

مقدار گرما در هر ثانیه به خارج نشت می کند؟

ب - چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می شود؟

پ- اگر در طول سال دمای داخل اتاق به طور متوسط  $8^{\circ}\text{C}$  بالاتر از دمای بیرون باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می شود؟

۱۶- گازی در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  دارای حجم  $10^3\text{cm}^3$  است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت  $20^3\text{cm}^3$  شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم  $5^3\text{cm}^3$  خواهد شد؟

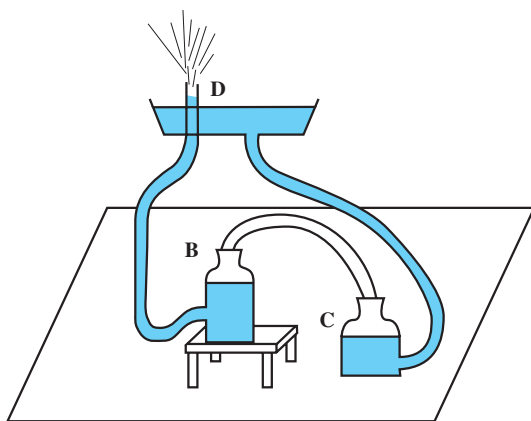
۱۷- هوا با فشار یک اتمسفر درون استوانه یک دستگاه باد دوچرخه به طول  $24\text{cm}$  محبوس است.

الف- اگر طول استوانه را در دمای ثابت به  $3^{\circ}\text{cm}$  افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چه قدر خواهد شد؟

ب- برای آن که در دمای ثابت فشار هوای محبوس ۳ اتمسفر شود، طول استوانه را چه قدر باید کاهش دهیم؟

۱۸- تایر یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا  $17^{\circ}\text{C}$  است فشار اندازه گیری شده در تایر ۲ اتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل رانی بسیار سریع، فشار هوای تایر دوباره اندازه گیری می شود. مشاهده می شود که فشار  $2/3$  اتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون تایر در این وضعیت چه قدر است (حجم تایر را ثابت بگیرید)؟

۱۹- در شکل ۶-۱۸ فواره هرون (ریاضی دان مصری عهد باستان) نشان داده شده است. فرض کنید که ظرف B در ابتدا پر و ظرف C خالی است. توضیح دهید چرا آب از لوله D فوران می کند؟



شکل ۶-۱۸

## واژه‌نامه

Cohesion	چسبندگی	Superconductor	ابر رسانا
Adhesion	چسبندگی سطحی	Freezing	انجماد
Condensation	چگالش	Measurement	اندازه‌گیری
Density	چگالی	Potential Energy	انرژی پتانسیل
Phase	حالت	Kinetic Energy	انرژی جنبشی
Motion	حرکت	Internal Energy	انرژی درونی
Kinematics	حرکت‌شناسی	Resultant	برآیند
Uniform Motion	حرکت یکنواخت	Vector	بردار
Temperature	دما	Position Vector	بردار مکان
Thermostat	دماپا	Crystalline	بلورین
Thermometer	دماسنج	Conservation of Energy	پایستگی انرژی
	دماسنج فرینه	Diffusion	پخش
Maximum and Minimum Thermometer		Radiation	تابش
Dynamics	دینامیک	Vaporization	تبخیر
Fusion	ذوب	Evaporation	تبخیر سطحی
Elementary Particles	ذرات بنیادی	Sublimation	تصعید
Conductor	رسانا	Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Conduction	رسانش	Optical Pyrometer	تف‌سنج نوری
Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای	Power	توان
Average Velocity	سرعت متوسط	Displacement	جاب‌جایی
Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای	Mass	جرم

Heat	گرما	Average Acceleration	شتاب متوسط
Latent Heat	گرمای نهان		ضریب اصطکاک ایستایی
Specific Heat	گرمای ویژه	Coefficient of Static Friction	
Condensed Matter	مادهٔ چگال	Heat Capacity	ظرفیت گرمایی
Temperature Scale	مقیاس دماسنجی	Ultrasound	فراصوت
Capillarity	موینگی	Pressure	فشار
Liquefaction	میعان	Gage Pressure	فشار پیمانه‌ای
Scalar	نرده‌ای	Barometer	فشارسنج
Scientific Notation	نمادگذاری علمی	Technology	فناوری
Force	نیرو	Atomic Physics	فیزیک اتمی
Dynamometer	نیروسنج	Nuclear Physics	فیزیک هسته‌ای
Semiconductor	نیم‌رسانا	Newton's Laws	قانون‌های نیوتون
Repulsive Force	نیروی رانشی	Work - Energy Theorem	قضیه کار و انرژی
Attractive Force	نیروی ربایشی	Work	کار
Weight	وزن	Tension	کنش
Convection	همرفت	Surface Tension	کنش سطحی
Unit	یکا	Quantity	کمیت
Base Units	یکاهای اصلی	Ideal gas	گاز کامل
Derived Units	یکاهای فرعی	Gravitation	گرانش

## فهرست منابع

### منابع فارسی

- ۱- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش نهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمه فضل‌الله فروتن، چاپ چهارم ۱۳۸۱، نشر علوم دانشگاهی.
- ۲- مبانی فیزیک (جلد اول)، ویرایش هفتم، دیوید هالیدی، رابرت رزینیک و جرل واکر، ترجمه محمدرضا جلیلیان نصرتی، محمد عابدینی و محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۸۴، انتشارات صفار.
- ۳- درک فیزیک با رویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمه روح‌الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.
- ۴- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادیزاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵- فیزیک عمومی (جلد سوم)، مارچلو آلوسنو و ادوارد جی. فین، ترجمه ناصر میرفخرایی و ایرج هرمزدیاری، چاپ اول ۱۳۷۰، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۶- فیزیک آماری، ف. رایف، ترجمه سیروس ضیاء و ابوالحسن فرح‌زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک PSSC، یوری هابر-شیم، جان اچ، داج و جیمز، ای والتر، ترجمه احمد خواجه نصیرطوسی، ناصر مقبلی و هوشنگ شریف‌زاده، چاپ اول ۱۳۷۳، انتشارات فاطمی.

### منابع انگلیسی

۱. Physics, Ken Dobson, 1995, Thomas Nelson and Sons Ltd.
۲. Understanding Physics, Robin Millar, 1989, Collins Educational.
۳. Foundation Physics, Keith Gibbs and Robert Hutchings, 1998, University of Cambridge.
۴. Basic Physics 1 and 2, David Sang, 1996, University Press.
۵. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison - Wesley.
۶. Focus on Physical Science, Charles H. Heimler and Jack Price, 1987, Merrill Publication Company.
۷. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 1993, John Wiley and Sons.
۸. Physics, Frederick Keller, Edward Gettys and Malcolm Skove, 1993, McGraw - Hill.
۹. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice - Hall International.
۱۰. Principles of Physics, Frank J. Blatt, 1989, Allyn and Bacon.
۱۱. Principles of Physics, Fredrick J. Bueche, David A. Jerde, 1995, MC Graw- Hill.

تصویرهای شروع فصل‌های ۲، ۱، ۳ و ۶ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.

فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

- ۱- آسمان شب؛ برایان جوتز؛ تهران؛ کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.
- ۲- آموزش فیزیک؛ ادوارد اف. ردیش؛ ترجمه فاطمه احمدی؛ تهران؛ دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.
- ۳- اختر فیزیک مقدماتی؛ بابک کبیری منش؛ تهران؛ مبتکران، پیشروان.
- ۴- توری و مسایل نجوم؛ سری شوم؛ استیسی‌ای. پلن؛ ترجمه صمد غلامی؛ تهران؛ دانش پژوهان جوان.
- ۵- تاریخ نجوم در ایران؛ حمیدرضا گیاهی یزدی؛ تهران؛ دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- ۶- جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیاره زمین در صد سال آینده؛ علی افضل صمدی؛ تهران؛ مؤسسه فرهنگی هنری جهان کتاب.
- ۷- راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشه آسمان)؛ پاتریک مور؛ تهران؛ دانش پژوهان جوان.
- ۸- فرهنگ نامه نجوم و فضا؛ هیتروپر؛ ترجمه شادی حامدی آزاد؛ تهران؛ طلایی.
- ۹- فیزیک ستاره‌ها؛ سی فیلیپس؛ ترجمه محمود بهار و دیگران؛ تهران؛ مبتکران، پیشروان.
- ۱۰- فیزیک مفهومی؛ ۴ جلد؛ پل جی هیویت؛ ترجمه منیره رهبر؛ تهران؛ فاطمی.
- ۱۱- فیزیک ۲ و آزمایشگاه؛ احمد احمدی و دیگران؛ تهران؛ مبنای خرد؛ نقش سیمرخ.
- ۱۲- کتاب کار - فیزیک دوم دبیرستان؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران؛ تهران؛ مرآت دانش.
- ۱۳- مسئله‌های مکانیک؛ احمدرضا حسینی؛ تهران؛ فاطمی.
- ۱۴- مکانیک؛ امیرآقا محمدی؛ تهران؛ فاطمی.
- ۱۵- مکانیک و پرتوزایی\*؛ مارک الس و دیگران؛ ترجمه روح‌الله خلیلی بروجنی؛ تهران؛ مدرسه.
- ۱۶- موج‌ها و جهان ما؛ مارک الس و دیگران؛ ترجمه روح‌الله خلیلی بروجنی؛ تهران؛ مدرسه.





فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

- ۱- آسمان شب؛ برایان جونز؛ تهران: کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.
- ۲- آموزش فیزیک؛ ادوارد اف. ردیش؛ ترجمه فاطمه احمدی؛ تهران: دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.
- ۳- اختر فیزیک مقدماتی؛ بابک کبیری منش؛ تهران: مبتکران، پیشروان.
- ۴- توری و مسایل نجوم؛ سری شوم؛ استیسی‌ای. پلن؛ ترجمه صمد غلامی؛ تهران: دانش پژوهان جوان.
- ۵- تاریخ نجوم در ایران؛ حمیدرضا گیاهی یزدی؛ تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- ۶- جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیاره زمین در صد سال آینده؛ علی افضل صمدی؛ تهران: مؤسسه فرهنگی هنری جهان کتاب.
- ۷- راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشه آسمان)؛ پاتریک مور؛ تهران: دانش پژوهان جوان.
- ۸- فرهنگ نامه نجوم و فضا؛ هیتروکوپر؛ ترجمه شادی حامدی آزاد؛ تهران: طلایی.
- ۹- فیزیک ستاره‌ها؛ سی فیلیپس؛ ترجمه محمود بهار و دیگران؛ تهران: مبتکران، پیشروان.
- ۱۰- فیزیک مفهومی؛ ۴ جلد؛ پل جی هیوئیت؛ ترجمه منیژه رهبر؛ تهران: فاطمی.
- ۱۱- فیزیک ۲ و آزمایشگاه؛ احمد احمدی و دیگران؛ تهران: مبنای خرد؛ نقش سیمرخ.
- ۱۲- کتاب کار - فیزیک دوم دبیرستان؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران؛ تهران: مرآت دانش.
- ۱۳- مسئله‌های مکانیک؛ احمدرضا حسینی؛ تهران: فاطمی.
- ۱۴- مکانیک؛ امیرآقا محمدی؛ تهران: فاطمی.
- ۱۵- مکانیک و پرتوزایی\*؛ مارک الس و دیگران؛ ترجمه روح‌الله خلیلی بروجنی؛ تهران: مدرسه.
- ۱۶- موج‌ها و جهان ما؛ مارک الس و دیگران؛ ترجمه روح‌الله خلیلی بروجنی؛ تهران: مدرسه.



مطمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را در باره ی مطالب

این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۳۶۳ ۱۵۸۵۵ - گروه درسی مربوطه و یا پیام نگار (Email):

[talif@talif.sch.ir](mailto:talif@talif.sch.ir) ارسال نمایند.

دقت نظر نامه یزنی در این کتاب نامی می