

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

# فیزیک (۲) و آزمایشگاه

## سال دوم آموزش متوسطه

### رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری  
نام کتاب : فیزیک (۲) و آزمایشگاه - ۲۶۶/۲

شورای برنامه‌ریزی : احمد احمدی، سیامک خادمی، روح الله خلیلی بروجنی، منیزه رهبر، محمد رضا شریف زاده اکباتانی، حیدر شکری، مهرناز طلوع شمس، حمید فدایی فرد، مجید فلاخ و اسفندیار معتمدی  
مؤلفان : اعظم پورقاضی، سید مهدی شیوایی، حسن عزیزی و غلامعلی محمودزاده

اصلاح و بازنگری : احمد احمدی، محمد رضا خوش‌بین خوش‌نظر، محمد رضا شریف‌زاده اکباتانی، مهرناز طلوع شمس و حمید فدایی فرد  
آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹۰۶۶۰۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌سایت : [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیک‌روش

رسام : مریم دهقان‌زاده

طراح جلد : مریم کیوان

صفحه‌آرا : راحله زاده‌فتح‌الله

حروفچین : کبری اجباتی، زهرا ایمانی نصر

مصحح : سیف‌الله بیک محمد‌لیوند، حسین چراغی

امور آماده‌سازی خبر : سپیده ملک‌ایزدی

امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت کلاچاهی، فاطمه رئیسیان فیروز‌آباد

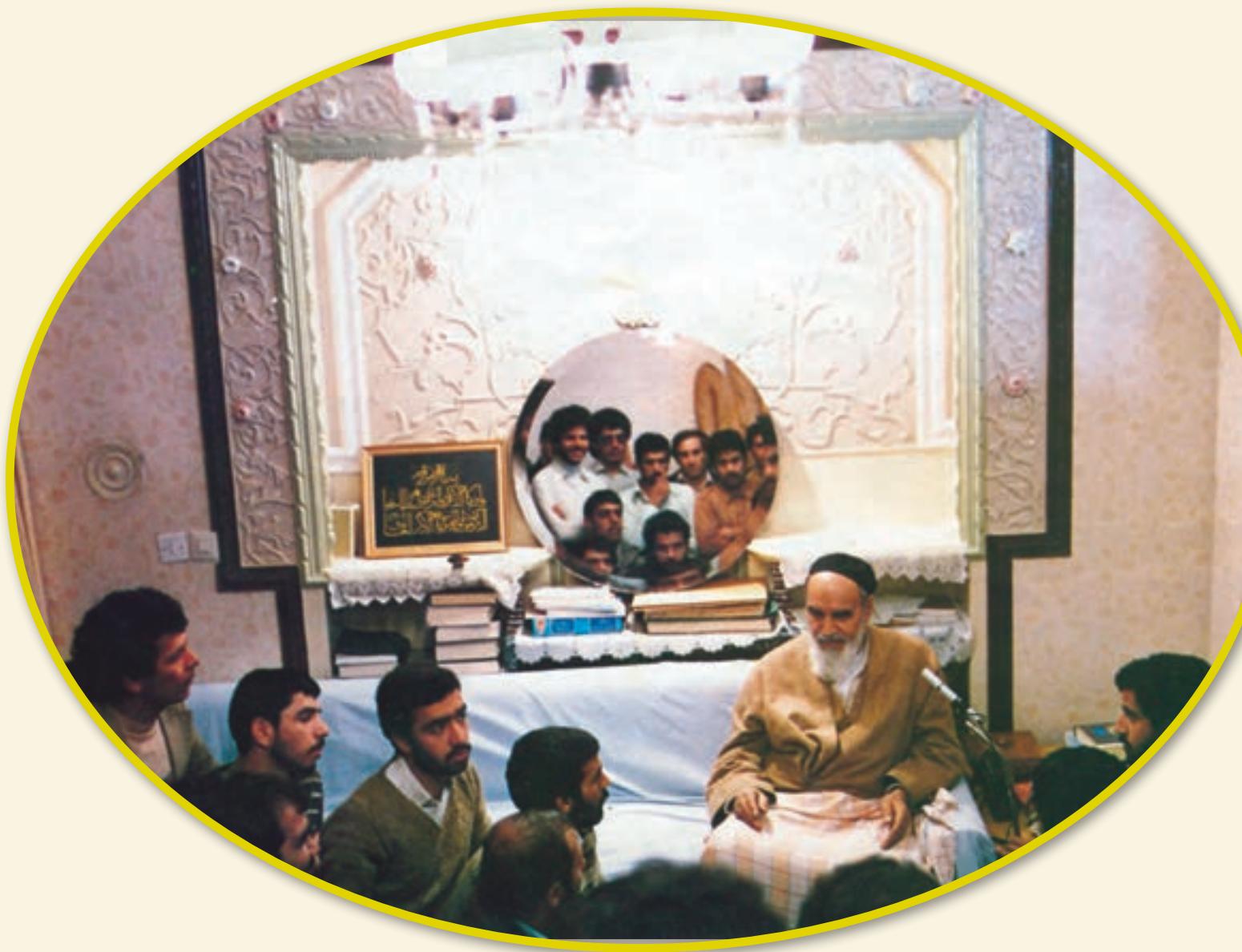
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارویخش)

تلفن : ۰۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۰۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پانزدهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.



هر کاری را که انسان باورش این است که نسبت به آن کار ضعیف است،  
نمی تواند آن کار را انجام بدهد. ... هر کشوری که اعتقادش این باشد که  
نمی تواند خودش صنعتی را ایجاد کند این ملت محکوم به این است که تا آخر  
نتواند، و این اساس نقشه هایی بوده است که برای ملل ضعیف دنیا قدرت های  
بزرگ کشیده اند.

امام خمینی (رحمه الله عليه)

# فهرست

فصل اول – اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی	
	۱
۸۴ ۳-۴- رابطه کار و انرژی پتانسیل ۸۶ ۴-۴- پایستگی انرژی مکانیکی ۸۹ ۵-۴- توان ۹۲ پرسش‌های فصل چهارم ۹۲ مسائل فصل چهارم	۱-۱- اندازه‌گیری ۲-۱- کمیت‌های فیزیکی ۱۳ پرسش‌های فصل اول ۲۴ مسائل فصل اول
فصل دوم – حرکت در خط راست	
	۲۶
۹۵ فصل پنجم – ویژگی‌های ماده ۹۶ ۱-۵- حالت‌های مختلف ماده ۹۸ ۲-۵- چگالی ۱۰۲ ۳-۵- نیروهای بین مولکولی ۱۰۶ ۴-۵- فشار در شاره‌ها ۱۰۷ ۵-۵- محاسبه فشار در مایع‌ها ۱۱۶ پرسش‌های فصل پنجم ۱۱۶ مسائل فصل پنجم	۲۸-۱- مکان، جایه‌جایی ۳۲-۲- سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای ۳۶-۳- حرکت یکنواخت ۳۸-۴- شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای ۴۲-۵- حرکت با شتاب ثابت ۴۸ پرسش‌های فصل دوم ۴۹ مسائل فصل دوم
فصل سوم – دینامیک	
	۵۳
۱۱۸ فصل ششم – گرمای و قانون گازها ۱۱۹ ۱-۶- دما، انرژی درونی و گرمای ۱۲۷ ۲-۶- حالت‌های ماده ۱۳۶ ۳-۶- انبساط گرمایی ۱۴۴ ۴-۶- انتقال گرمای ۱۵۶ پرسش‌های فصل ششم ۱۵۶ مسائل فصل ششم	۵۴-۱- نیرو ۵۶-۲- قانون‌های نیوتون درباره حرکت ۵۹-۳- معرفی چند نیروی خاص ۷۰-۴- استفاده از قانون‌های نیوتون درباره حرکت ۷۳ پرسش‌های فصل سوم ۷۴ مسائل فصل سوم
فصل چهارم – کار و انرژی	
	۷۶
۱۶۰ واژه‌نامه ۱۶۳ فهرست منابع	۷۷-۱- کار ۸۰-۲- رابطه کار و انرژی جنبشی

## سخنی با دانش آموزان و همکاران محترم

فیزیک، علمی تجربی و حاصل تلاش انسان برای درک دنیای اطراف است. این علم دانشی آزمودنی است که می‌تواند با مشاهده پدیده‌های جدید دستخوش تغییر شود. به عبارت دیگر در فیزیک هیچ نظریه‌ای به عنوان حقیقت پایانی و غایی وجود ندارد. پرورش علمی دانش آموزان و برخوردار شدن آنان از سواد علمی فناورانه از لازمه‌های زندگی سالم و موفقیت‌آمیز در جهان امروز است.

به دنبال تحولات سریع در علم و فناوری، شیوه‌های زندگی نیز دچار تغییر زیادی شده است. این امر سبب می‌شود تا نیازهای فردی دانش آموزان در زمینه علم و فناوری برای برنامه‌ریزان آموزشی، به طور کامل آشکار نباشد. به همین دلیل شیوه‌های آموزش فیزیک نیز به تغییر نیازهای جدید، تغییرات چشمگیری داشته است.

در شیوه‌های نوین آموزش، تلاش زیادی می‌شود تا دانش آموز، چگونگی آموختن را بیاموزد و مهارت برخورد با یک پدیده و پیمودن مراحلی را که منجر به شناسایی آن پدیده می‌شود، فرآوری کند. در کتاب‌های درسی فیزیک تلاش شده است، دانش آموز در تولید مفاهیم درسی نقش فعالی داشته باشد. قسمتی از نقش دیران محترم، طرح مناسب موضوعات درسی و سپس راهنمایی دانش آموزان برای باز کشف مفاهیم مربوط به موضوعات مطرح شده است. با توجه به این که یکی از موضوعات مورد تأکید در این کتاب، فعال بودن دانش آموزان و نقش داشتن آنها در تولید مفاهیم است، لازم است که همکاران محترم از افزودن مطالب اضافی به مباحث کتاب که به شکل مبسوط در سال‌های آتی به آنها پرداخته خواهد شد، جداً پرهیزنند. تا نقش فعالی که دانش آموزان در تولید مفاهیم می‌توانند داشته باشند، سبب رشد عقلی و مهارتی آنها شود. که این موضوع خود یکی از هدف‌های اصلی آموزش در دوره‌های عمومی و متوسطه است. مناسب است همکاران محترم، موضوعات درسی را به گونه‌ای طرح کنند که اکثر دانش آموزان در فرایند آموزش و یادگیری در گیر شوند و مهارت‌های علمی و عملی آنها رشد یابد.

انتظار می‌رود همکاران گرامی هرجا که لازم می‌دانند با تکیه بر تجربه خود و دیگر همکاران، فعالیت و یا آزمایشی را که به یادگیری بهتر دانش آموزان کمک می‌کند، طراحی کنند و آنها را به طور گروهی برانجام آزمایش‌ها تغییر کنند و از آنان بخواهند که گزارش کار، پیشنهادها و نتایجی را که از فعالیت می‌گیرند، در دفتر خود ثبت و به کلاس ارائه کنند. چگونگی ارائه این گزارش می‌تواند به عنوان یکی از ملاک‌های ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد.

گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری همواره از دریافت نظرهای ارزشمند دیران محترم، صاحب‌نظران و دانش آموزان جهت رفع نارسایی‌ها و لغزش‌های احتمالی به گرمی استقبال می‌کنند. 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 تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

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

# اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

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



بنایی در طوس — فراسان (ضوی)

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان مادی پیامون ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی جان، بدون دانش فیزیک میسر نیست.

شما با فراگیری فیزیک می آموزید که چگونه: مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به صورت مناسب ثبت کنید. فراگیری دانش فیزیک توانایی شما را در انطباق با فناوری در حال تغییر عصر حاضر افزایش می‌دهد.

واژه فیزیک برگرفته از واژه باستانی یونانی Physis به معنای طبیعت و ماهیت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان آسیای صغیر در سده هفتم قبل از میلاد مسیح نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی درباره طبیعت مطرح ساختند.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و ... به ویژه در شهر اسکندریه پی‌گیری شد. کارهای ارشمیدس (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) به همین دوره مربوط می‌شود. روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی مانند ابو ریحان بیرونی، ابن‌هیثم، خواجه نصیر الدین طوسی، ابن‌سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، اپتیک و مکانیک علم فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.

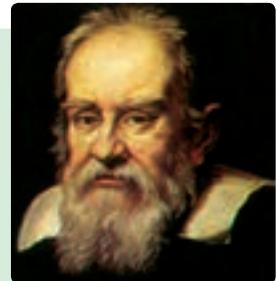
گالیله ضمن بررسی حرکت اجسام روی سطح شبیدار به اندازه‌گیری کمیت‌هایی مانند جرم جسم، زمان حرکت و طول مسیر پرداخت. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌ها بیابد و نتیجه را به صورت ریاضی بیان کند. در روش‌های علمی امروزی نیز دانشمندان در جستجوی روابط ریاضی‌ای هستند که نتایج اندازه‌گیری‌ها را به هم مربوط می‌کنند.

کارشناسان فیزیک یا در شاخه‌های تخصصی فیزیک مانند اختر فیزیک، فیزیک هسته‌ای، نورشناسی، فیزیک اتمی، لیزر و ... فعالیت دارند یا در شاخه‌های مرتبط مانند فیزیک پزشکی، شیمی-فیزیک، هوش‌نگاری، ژئوفیزیک، مخابرات و ... مشغول به کار هستند.

با توجه به اهمیتی که اندازه‌گیری در فیزیک دارد، قسمت اول این فصل به اندازه‌گیری و نکته‌های مربوط به آن اختصاص دارد. در ادامه کمیت‌های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می‌کیم. سپس در مورد کمیت‌های نرده‌ای و برداری و محاسبات ریاضی آنها تا حد نیاز شرح خواهیم داد.

## ۱-۱ اندازه‌گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده‌اید که در ذهن خود برای هر کس یا هر چیز صفت‌ها و ویژگی‌هایی می‌شناسید. به یخ سردی، به آب روانی، به گل زیبایی، به آسمان رنگ آبی، به مادر مهربانی، به پرسبکی، به سنگ سنگینی، به فیل بزرگ جثه‌ای و به مورچه کوچکی و ... نسبت می‌دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری‌اند و برخی دیگر نه. برای مثال سنگینی یک جسم، بلندی یا دمای یک جسم را به صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می‌توان اندازه‌گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.



گالیله‌گالیله (۱۰۲۱-۹۴۳ ه.ش) فیزیکدان، منجم و ریاضیدان ایتالیایی در شهر پیزا ایتالیا به دنیا آمد. از او به عنوان پدر علم نوین در تاریخ یادشده است. او از ۲۸ سالگی در دانشگاه پادوا تدریس کرد و نخستین خدمت بازز او به علم کشف وجود نوآختران در سال ۱۶۰۴ میلادی بود. گرچه او خدمات متعددی به علم کرد که از آن جمله می‌توان به ساخت تلسکوپ، کشف چهار قمر مشتری و قانون سقوط آزاد اجسام اشاره کرد، اما کارهای علمی او تحت الشعاع نظریه او در رده نظریه زمین مرکزی بطلمیوس قرار گرفت و اینکه زمین نیز مانند سیارات دیگر و ماه است. پس از چاپ کتاب گفتار که در آن به تشریح نظریات خود پرداخت، زیرآماج تبرهای تهمت قرار گرفت و سیل مخالفت و عناد بر علیه او به پا شد، به طوری که در سال ۱۶۳۳ میلادی کارش به دادگاه تعقیش عقابی روم کشید و او به اجبار دست از نظریات خود پرداشت. با این همه او پیش از مرگ کتابی به نام علوم جدید را به طور محترمانه به چاپ رساند و سرانجام در ۸ ژانویه ۱۶۴۲ میلادی (۱۰۲۱ ه.ش) چشم از دنیا فرو بست.

در زندگی روزانه، هریک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه‌می‌گیریم، فاصله بین دو نقطه یا طول یک جسم یا جرم یک جسم مانند مقداری میوه و ... را اندازه‌گیری می‌کنیم. این اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های دیگری که می‌توان برشمرد، 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 ۱-۱



فعالیت‌های روزانه چند نفر از مردم اطراف خود (پزشک، خیاط، اعضای خانواده، عطار، شیشه‌بر و ...) را به دقت درنظر 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 و کامل کنید.

مقادیر به دست آمده در یک اندازه‌گیری	وسایل اندازه‌گیری	چه چیزی را اندازه‌می‌گیرد		
۸-۱۲ میلی‌متر جیوه، ۳۷/۵ درجه سلسیوس، ۷۵ ضربان بر دقیقه	فشارسنج، دما‌سنج، گوشی پزشکی و ساعت	فشارخون، دمای بدن، ضربان قلب	پزشک	۱
			نجار	۲
			خیاط	۳
			متصدی پمپ بنزین	۴
			شیشه‌بر	۵
				۶

آیا می‌توانیم از این فعالیت نتیجه بگیریم که در هر اندازه‌گیری نیاز به وسیله اندازه‌گیری وجود دارد و نتیجه‌اندازه‌گیری بر حسب یک [یکا](#) بیان می‌شود؟

**جایگاه اندازه‌گیری در فیزیک:** در بررسی بیشتر موضوع‌های مختلف فیزیک با اندازه‌گیری سروکار داریم. در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌ها را انجام دادیم. مثلاً با استفاده از ولتسنج اختلاف پتانسیل دونقطه از مدار را بر حسب ولت به دست آورديم، یا با استفاده از خط کش فاصله کانونی عدسی همگرا را بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری کردیم و ... .

بنابراین فیزیک مجموعه‌ای است از اندازه‌گیری‌ها و یافتن رابطه بین نتیجه‌های آنها که نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک را می‌سازند. بسیاری معتقدند «فیزیک علم اندازه‌گیری است» در واقع آنها می‌خواهند بر اهمیت موضوع اندازه‌گیری در فیزیک تأکید کنند.

**یکای (واحد) اندازه‌گیری :** همان‌گونه که دیدیم یکی از جنبه‌های مشترک بین همه اندازه‌گیری‌ها وجود یکای اندازه‌گیری است. با انجام اندازه‌گیری یک عدد بدست می‌آید. برای مثال ممکن است برای بلندی قامت یک فرد  $1/72$  متر یا برای طول یک اتاق  $8$  قدم و یا برای فاصله بین دو شهر  $70$  کیلومتر بدست آید. می‌دانید که در هر مورد، عدد گزارش شده بیان می‌کند که مقدار کمیت مورد نظر چند برابر مقدار کمیتی از همان جنس است که به عنوان مقیاس انتخاب شده است. این مقیاس را **یکا** (یا واحد) آن کمیت می‌نامند.

### فعالیت ۱-۷

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

یکا	طول نیمکت (یا هر چیزی دیگری که مورد نظر شماست)
طول یک مداد	
طول یک خودکار	
طول یک وجب	

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

فعالیت ۲-۱ شان می‌دهد که وقتی از یکاهای مختلفی برای اندازه‌گیری طول یک جسم استفاده می‌کنیم عده‌های متفاوتی به دست می‌آوریم.

دانشمندان برای آنکه عده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت به راحتی با هم مقایسه‌پذیر باشند، در نشسته‌های بین‌المللی توافق کرده‌اند که برای هر کمیت، یکای معینی تعریف کنند. یکاهای تعریف شده باید به گونه‌ای انتخاب شوند که هم تغییرناپذیر و هم در دسترس باشند. مثلاً اگر یکای طول را به صورت طول و جب دست معرفی کیم. مطمئناً یکای قابل دسترسی خواهیم داشت. اما این یکا از شخصی به شخص دیگر تغییر خواهد کرد. نیاز به دقت در علوم، مهندسی، پزشکی و... ما را وامی دارد که به تغییرناپذیری یکا اهمیت بیشتری بدheim و پس از تعیین آن، نمونه‌های مشابهی از آن را تولید کنیم و در اختیار کسانی که به آنها نیاز دارند قرار دهیم. دستگاه یکاهایی که غالباً دانشمندان علوم و مهندسی در سراسر جهان به کار می‌برند و شامل مجموعه‌ای از یکاهای مورد توافق بین‌المللی است، دستگاه بین‌المللی یا SI<sup>۱</sup> خوانده می‌شود. در ادامه به معرفی برخی از این یکاهای می‌پردازیم.

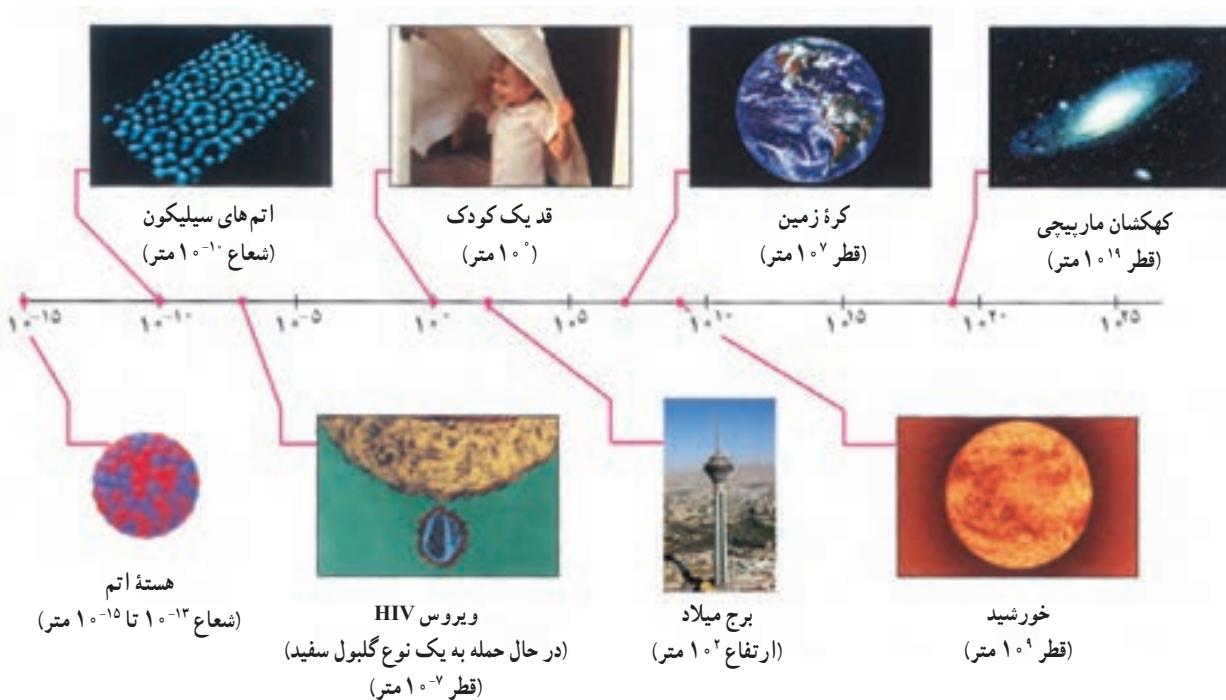
۱- SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

**یکاهای اصلی:** در عمل نیازی نیست که برای هر یک از کمیت‌های فیزیکی یکای مستقلی تعریف شود. برای مثال، اگر واحد طول تعریف شده باشد، دیگر لازم نیست برای مساحت یکای مستقلی تعریف کنیم؛ 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 بر حسب متر، مساحت بر حسب متر در متر یعنی متر مربع مشخص می‌شود.

آن دسته از کمیت‌هایی را که یکاهای آنها به طور 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، زمان، دما و جریان الکتریکی از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که در ادامه یکای برخی از آنها را معرفی می‌کنیم.

**یکای طول:** یکای طول در SI، متر نام دارد که آن را با نماد m نمایش می‌دهند. بنابراین توافق قدیمی برای این طول (یک متر) نمونه استانداردی ساخته شده است که در موزه سوئون 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 درجه سلسیوس به طور دقیق برابر طول توافق شده بین المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همه کشورها نمونه‌هایی مشابه این نمونه استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند.

شکل ۱-۱ مرتبه بزرگی برخی طول‌ها را نشان داده است.



شکل ۱-۱- مرتبه بزرگی برخی طول‌ها بر حسب متر

**یکای جرم :** یکای جرم در SI، کیلوگرم نام دارد که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند. برای این

یکای نیز یک نمونه استاندارد به صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزه سوپر فرانسه نگهداری می‌شود و کشورهای دیگر نیز مشابه این نمونه استاندارد را تهیه می‌کنند (شکل ۱-۲).

**یکای زمان :** یکای زمان در SI، ثانیه نام دارد که آن را با نماد s نمایش می‌دهند. طبق یک

تعريف قدیمی، یک ثانیه برابر  $\frac{1}{86400}$  یک شبانه‌روز است.

### جدول ۱-۱- یکای پنج کمیت اصلی در SI

نماد یکای	نام یکای	کمیت
m	متر	طول
s	ثانیه	زمان
kg	کیلوگرم	جرم
A	آمپر	جريان الکتریکی
K	کلوین*	دما

\* با این یکا در فصل ششم کتاب آشنا می‌شوید.



شکل ۱-۲- نمونه جرم استاندارد

### یکای کمیت‌های فرعی :

پیش از این دیدیم که نیازی به معرفی یک یکای مستقل برای مساحت نیست؛ زیرا مساحت معمولاً با اندازه گیری دو طول و به کمک یک رابطه هندسی محاسبه می‌شود. در نتیجه یکای آن در SI متر مربع ( $m^2$ ) است. بهمین 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 تعریف کنیم که یکای آنها قبلًا معرفی شده است. از این پس با هر کمیت فرعی که مواجه شویم یکای آن را نیز معرفی خواهیم کرد.

### فعالیت ۱-۳

در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه با تعدادی از کمیت‌های اصلی و فرعی آشنا شدید. در جدول زیر یکای کمیت‌های داده شده را بر حسب یکاهای اصلی بنویسید.

ردیف	نام کمیت	نماد کمیت	نام یکای	نماد یکای	یکا بر حسب یکاهای اصلی
۱	سرعت				
۲	انرژی جنبشی				
۳	شتاب جاذبه	g	متر بر محدود ثانیه	$m/s^2$	
۴	انرژی پتانسیل گرانشی				
۵	بار الکتریکی			C	A.s
۶	توان عدسی				
۷					

۱- 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 پیش‌فتوان فیزیک با آن آشنا خواهد شد.

**پیشوندهای SI :** هرگاه در اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ یا بسیار کوچک مواجه شویم، از پیشوندهایی استفاده می‌کنیم که در جدول ۲-۱ فهرست شده‌اند. همان‌طور که از ضرایب تبدیل جدول پیداست هر پیشوند توان معینی از  $10^{\circ}$  را نشان می‌دهد که به صورت یک عامل ضرب به کار می‌رود. یعنی وقتی یک پیشوند SI افزوده می‌شود آن یکا در ضریب مربوطه ضرب می‌شود، مثلاً  $1 \text{ میکرومتر} (1\mu\text{m})$  که به آن  $1 \text{ میکرون نیز می‌گویند}$  برابر  $10^{-6} \text{ m}$  است یا  $2 \text{ مگاوات} (2\text{MW})$  برابر  $2 \times 10^6 \text{ W}$  است.

جدول ۲-۱

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

### تمرین ۲-۱

با استفاده از جدول ۲-۱ حساب کنید:

(الف)  $5 \text{ km} / 10000 \text{ cm}$  چند cm است؟

(ب)  $3/5 \times 10^{-8} \text{ s}$  چند ns است؟

(پ)  $47 \text{ mg} / 100 \text{ }\mu\text{g}$  چند  $\mu\text{g}$  است؟

**مقیاس نانو :** یکی از مقیاس‌هایی که امروزه کاربردهای گستره‌ای در فیزیک یافته است، مقیاس

نانو است که در واقع «یک میلیاردیم» آن چیزی است که داریم. اغلب مقیاس نانو برای طول به کار می‌رود و اصطلاحاً با نانومتر (nm) سر و کار داریم. دانش و ابزاری که ما را قادر به بررسی، مشاهده و

به کارگیری «چیزها» در مقیاس نانو می‌کند، علوم و فناوری نانو نامیده می‌شود. بحث در مورد دانش نانو و اینکه بشر چگونه توانسته است به چنین دستاوردهای عجیبی دست یابد، بدون درک مفهوم اندازه نانو و اینکه دانشمندان واقعاً با چه «چیزهایی» ریزی سر و کار دارند، ملموس نخواهد بود. برای درک بهتر از این مقیاس و برای آنکه دید بهتری از دانش نانو و اختراقات و چیزهای ریز داشته باشید، مطابق شکل ۱-۳ از چیزهای قابل تصور شروع می‌کنیم و به تدریج به اندازه‌های خیلی کوچک در مقیاس نانو می‌رسیم.

فعالیت ا-۴

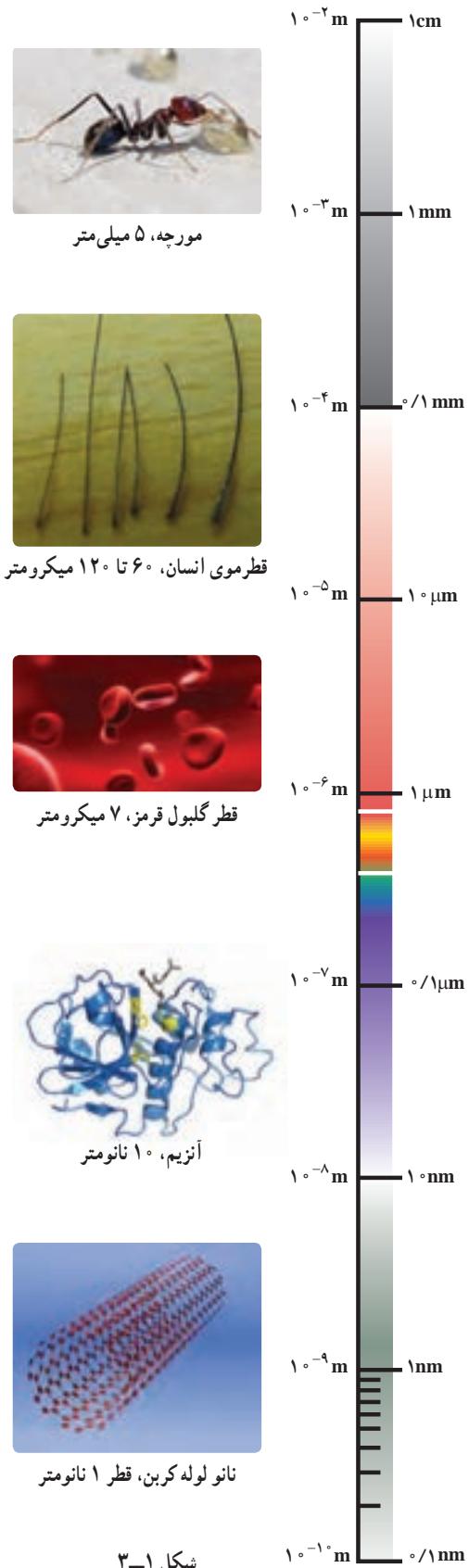
- الف) با استفاده از شکل ۳-۱ و برای آنکه به تصوری از اندازه مقیاس نانو دست یابید، قطر موی انسان و قطر یک گلبلوں قرمز را بر حسب مقیاس نانو بدست آورید.

ب) در مورد ابزارهایی که دانشمندان و مهندسان علوم نانو با آن کار می‌کنند تحقیق، و به کلاس گزارش کنید.

**نمادگذاری علمی**: در یادهای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای

خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً سرعت نور در خلاء به طور دقیق  $458 \text{ m/s}$ ,  $792$ ,  $299$  است که در محاسبه آن را به صورت  $300,000,000 \text{ m/s}$  تقریب می‌زنند یا برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز  $3^\circ$  صفر قرار دهیم و پس از آن رقم  $91.9$  را بنویسیم. بدینهی است که نوشتن چنین عددهایی به صورت اعشاری یا با صفرهای زیاد، علاوه بر آنکه 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 به صورت حاصل ضرب عددی بزرگ تراز ۱ یا مساوی با ۱ و کوچک تراز  $10^\circ$  و ضریبی با توان صحیحی از  $10^\circ$  می‌نویسند. به عنوان مثال سرعت نور به صورت  $1 \times 10^8 \text{ m/s}$  و جرم الکترون به صورت  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  نوشته می‌شود.



٣-١ شکل

داده‌های زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

$$r = ۳۸۲ \times ۱۰^۳ \text{ km} = \dots \text{ m}$$

$$a_s = ۰/۰۵۲۹ \text{ nm} = \dots \text{ m}$$

$$m = ۱۹۹ \times ۱۰^{۲۵} \text{ ton} = \dots \text{ kg}$$

$$m = ۱۶/۷ \times ۱۰^{-۲۵} \text{ g} = \dots \text{ kg}$$

$$T = ۰/۲۴۱ \text{ سال} = \dots \text{ سال}$$

الف) فاصله ماه تا زمین :

ب) شعاع اتم هیدروژن در مدل اتمی بور :

پ) جرم خورشید :

ت) جرم پروتون :

ث) مدت زمان گردش سیاره عطارد به دور خورشید :

ج) مدت زمان گردش الکترون به دور هسته

اتم هیدروژن در مدل اتمی بور :

چ) بار الکتریکی الکترون :

**پاسخ:** با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم :

$$r = ۳۸۲ \times ۱۰^۳ \text{ km} = ۳/۸۲ \times ۱۰^۸ \text{ m}$$

$$a_s = ۰/۰۵۲۹ \text{ nm} = ۵/۲۹ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ m}$$

$$m = ۱۹۹ \times ۱۰^{۲۵} \text{ ton} = ۱/۹۹ \times ۱۰^{۳۰} \text{ kg}$$

$$m = ۱۶/۷ \times ۱۰^{-۲۵} \text{ g} = ۱/۶۷ \times ۱۰^{-۲۷} \text{ kg}$$

$$T = ۰/۲۴۱ \text{ سال} = ۲/۴۱ \times ۱۰^{-۱} \text{ سال}$$

$$T = ۰/۰۰۰ ۱۵ \text{ ps} = ۱/۵ \times ۱۰^{-۱۶} \text{ s}$$

$$q_e = ۱۶^{\circ} \times ۱۰^{-۱۵} \mu\text{C} = ۱/۶^{\circ} \times ۱۰^{-۱۹} \text{ C}$$

### تمرین ۱-۲

داده‌های زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

$$Re = ۶۳۷ \times ۱۰^۴ \text{ m} = \dots \text{ km}$$

الف) شعاع کره زمین

$$r = ۴۰۴ \times ۱۰^{۱۱} \text{ km} = \dots \text{ m}$$

ب) فاصله زمین تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیمای قنطروس)

$$M_e = ۵۹۸ \times ۱۰^{۱۱} \text{ ton} = \dots \text{ kg}$$

پ) جرم کره زمین

$$m = ۳۳۴۴ \times ۱۰^{-۲۷} \text{ g} = \dots \text{ kg}$$

ت) جرم دوترون (یکی از ایزوتوپ‌های هیدروژن)

$$t = ۴۹۹ \text{ s} = \dots \text{ s}$$

ث) مدت زمان رسیدن نور خورشید به زمین

**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 هر یک 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.

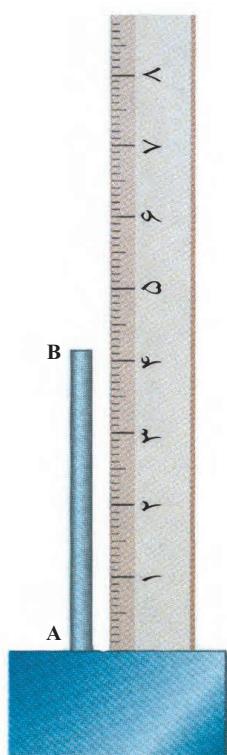
برای کم کردن خطأ در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن چند بار تکرار می‌شود. اگر عددهای بدست آمده متفاوت باشند، میانگین آن عددها به عنوان نتیجه اندازه‌گیری پذیرفته می‌شود. البته در میان عددهای متفاوت اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی باقیه داشته باشند در میانگین گیری به حساب نمی‌آیند.

### وسیله اندازه‌گیری طول :

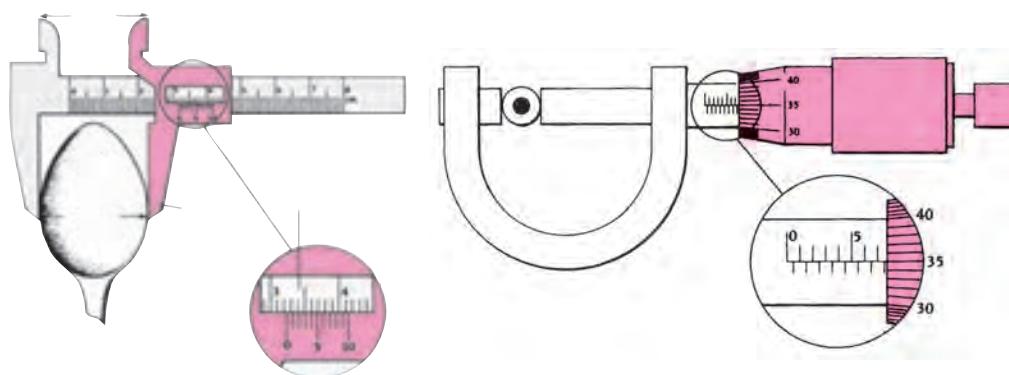
در اندازه‌گیری طول های نه‌چندان بزرگ و نه‌چندان کوچک از یک خطکش یا متر نواری استفاده می‌کنیم که بر حسب میلی‌متر یا سانتی‌متر مدرج شده باشد. فرض کنید که می‌خواهیم طول میله‌ای معین مثلاً میله AB در شکل (۴-۱) را با یک خطکش میلی‌متری اندازه بگیریم. در خطکش میلی‌متری فاصله بین هر دو نشانه متواالی برابر یک میلی‌متر است. در شکل، نقطه B بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که طول میله از ۴۱ میلی‌متر بیشتر و از ۴۲ میلی‌متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیشتر از ۴۱ میلی‌متر یا چقدر کمتر از ۴۲ میلی‌متر است، معلوم نیست.

طول این میله بر حسب میلی‌متر با یک عدد صحیح مثلاً ۴۱ یا ۴۲ میلی‌متر بیان می‌شود. با این خطکش نمی‌توان طول میله را با عددهایی مانند  $\frac{41}{8}$  یا  $\frac{42}{1}$  و یا ... میلی‌متر بیان کرد. در بعضی از کارگاه‌های صنعتی مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خطکش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها کولیس و ریزنیج هستند. کولیس‌هایی که امروزه در آزمایشگاه‌های مدرسه استفاده می‌شوند، می‌توانند تا  $\frac{2}{100}$  میلی‌متر را اندازه بگیرند. یعنی می‌توانند ضخامتی به کوچکی  $\frac{2}{100} \text{ mm}$  را نشان دهند.

در شکل‌های (۱-۵-الف و ب) اندازه‌گیری با کولیس و ریزنیج نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- اندازه‌گیری طول  
یک میله با خطکش میلی‌متری



(ب) کولیس قدیمی با دقت  $0.1 \text{ mm}$

(الف) ریزنیج با دقت  $1 \text{ mm}$

شکل ۱-۵

به همراه گروه خود :

- ۱- درباره روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک مانند فاصله زمین تا ماه، مسافت بین دو شهر، ضخامت موی سر، قطر یک سیم نازک و ... تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.
- ۲- از آزمایشگاه دبیرستان، کولیس و ریزسنج بگیرید و چگونگی کار با این دو وسیله را بنویسید.
- ۳- اگر کولیس یا ریزسنج در اختیار نداشته باشد، ضخامت یک برگ کاغذ را چگونه اندازه می‌گیرید؟

### گزارش کار یک آزمایش چیست؟

گزارش کار همان گونه که از نامش بر می‌آید، شرح جزئیات و مرحله‌های انجام یک آزمایش است و معمولاً حاوی نکته‌های زیر است :

- هدف از انجام آزمایش.
- نام آزمایشگر یا آزمایشگران (یا نام گروه).
- زمان و محل انجام آزمایش.
- نام وسیله‌های مورد نیاز در آزمایش.
- شرح روش یا روش‌های آزمایش.
- درج عده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.
- در صورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.
- عوامل ایجاد خطأ در اندازه‌گیری‌ها.
- نتیجه‌گیری.
- هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد.

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

**وسیله اندازه‌گیری جرم :** جرم را معمولاً با ترازو اندازه می‌گیریم. شما در آشپزخانه، نانوایی، میوه‌فروشی و ... انواع مختلفی از ترازوها را دیده‌اید که برای اندازه‌گیری جرم‌های معمولی استفاده می‌شود. در شکل ۱-۶ تصویر برخی از ترازوها آمده است.

۱- در پیوست انتهای کتاب، یک گزارش کار آزمایش به صورت نمونه آورده شده است که برای آشنایی می‌توانید به آن مراجعه کنید.

در استفاده از ترازوها توجه به نکات زیر ضروری است :

الف) ترازو باید روی سطح کاملاً افقی قرار داشته باشد.

ب) صفر ترازو را تنظیم می کنیم؛ یعنی وقتی چیزی روی ترازو نباشد، ترازو عدد صفر را نشان دهد یا هردو کفه در یک تراز باشد.

پ) جسم مورد نظر را به آرامی روی ترازو قرار می دهیم.

ت) پس از قرار دادن جسم در ترازو، صبر می کنیم، سپس عدد مورد نظر را می خوانیم یا مجموع وزنه های استفاده شده را حساب می کنیم.



شکل ۱-۶

### مثال ۱-۲

در تصویر مقابل، ترازو جرم بخشی از یک میوه را  $87/9$  g نشان می دهد.

با این ترازو، جرم سبیلی را اندازه می گیریم. کدام یک از عده های زیر می توانند نتیجه این اندازه گیری باشد؟

الف)  $211/25$  g      ب)  $211/2$  g

ت)  $211/3$  g      پ)  $211/27$  g



**پاسخ:** دقت این ترازو  $1/0$  است. پس هر اندازه گیری با آن فقط با این دقت انجام می شود. بنابراین فقط اندازه گیری  $211/2$  g با این ترازو معتبر است.

### فعالیت ۱-۷

الف) درباره روش و ابزار اندازه گیری جرم های بزرگ مانند کامیون پر از بار و جرم های کوچک مانند دانه خاکشیر تحقیق و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

ب) جرم یک سیب، یک دانه عدس و آب درون لیوان را با ترازو (چندبار) اندازه بگیرید و گزارش کارآزمایش را بنویسید.

**وسیله اندازه‌گیری زمان :** وسیله متدال برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به صورت‌های مختلف در همه جا موجود است.

### ۸-۱ فعالیت

- با بحث و تبادل نظر گروهی توضیح دهید که
- الف) چگونه می‌توان زمان نوسان (زمان یک رفت و برگشت کامل) یک آونگ را اندازه‌گیری کرد.
- ب) اگر سنگی را به هوا پرتاب کنید مدت زمانی که سنگ در هواست را چگونه اندازه می‌گیرید؟ وسیله و روش اندازه‌گیری را شرح دهید.
- پ) آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوانید جرم و حجم یک قطره آب را اندازه بگیرید.

### تمرین ۱-۳

با پیمانه‌ای به گنجایش ۵ سانتی متر مکعب حجم مقداری مایع را اندازه گرفته‌ایم. کدام یک از داده‌های زیر می‌تواند نتیجه اندازه‌گیری با این پیمانه باشد؟

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| الف) $21\text{cm}^3$ | $20\text{cm}^3$ |
| ب) $20/5\text{cm}^3$ | $19\text{cm}^3$ |

### ۱-۲ 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 دستهٔ متمایز نزده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند.

**کمیت‌های نزده‌ای :** چهار پیمانه  $20\text{ }\text{cm}^3$  سانتی متر مکعبی آب درون سطلي می‌ریزیم. حجم آب درون سطل چقدر است؟ اگر دو پیمانه دیگر آب به سطل بیفزاییم، حجم آب چقدر خواهد شد؟ پاسخ هر بند این پرسش تنها با یک عدد به طور کامل بیان می‌شود. کمیت‌هایی مانند حجم با این ویژگی که برای مشخص شدن آنها بحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفايت می‌کند **نزده‌ای** نام دارند.

محاسبه‌های ریاضی این گونه کمیت‌ها مانند جمع یا تفریق، از قاعده‌های متدال در حساب پیروی می‌کنند. در پاسخ به بخش دوم پرسش بالا شما به سادگی حجم افروده شده را با حجم قبلی جمع کردید.

برخی از کمیت‌های نرده‌ای که تاکنون با آنها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، توان، اختلاف پتانسیل الکتریکی، 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.

تصویر 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 از شما دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به عبارت دیگر جایی 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 جایه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جایه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارد.

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

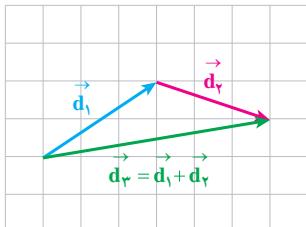
**جایه‌جایی‌های مساوی:** یک دسته سرباز را در حال رژه رفتن مجسم کنید. جایه‌جایی آنها را در یک مدت مشخص (بازه زمانی معین) رسم کنید. مجموعه‌ای از پاره خط‌های موازی و مساوی و هم‌سو به دست می‌آورید. در این حالت می‌گوییم که این سربازها جایه‌جایی مساوی داشته‌اند. به عبارت دیگر دو جایه‌جایی را وقتی مساوی می‌گویند که به یک اندازه و در یک جهت (یک راستا و یک سو) باشند.

جایه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

## فعالیت ۹-۱



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 عمودی را با شماره ۳ مشخص کنید. با این کار شما شکلی مشابه شکل رو به رو به دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محل شماره ۱ به محل شماره ۲ برود. بردار جایه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این جایه‌جایی پاره خط جهت‌داری است که ابتدای نقطه ۱ و انتهای نقطه ۲ است). نام این جایه‌جایی را  $\vec{d}_1$  بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شماره ۲ به محل شماره ۳ برود. این جایه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را  $\vec{d}_2$  بنامید. جایه‌جایی کل دوست شما  $\vec{d}_3$  (از نقطه ۱ به نقطه ۳) چگونه است؟ آیا طول  $\vec{d}_3$  با مجموع طول‌های  $\vec{d}_1$  و  $\vec{d}_2$  برابر است؟ اگر نیست پس دو جایه‌جایی  $\vec{d}_1$  و  $\vec{d}_2$  را چگونه با هم جمع کنیم تا  $\vec{d}_3$  به دست آید؟



شکل ۱-۷

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت ۹ به دست آورده اید، درمی یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جا به جایی  $d_1$  و  $d_2$ ، مانند شکل ۱-۷ ابتدا جا به جایی  $\vec{d}$  و سپس از انتهای آن جا به جایی  $\vec{d}_2$  را رسم می کنیم. پاره خط جهت داری که ابتدای آن ابتدای  $d_1$  و انتهای آن انتهای  $d_2$  است، جا به جایی کل یا حاصل جمع دو جا به جایی ( $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$ ) را نشان می دهد.

جایه جایی، نمونه‌ای از یک کمیت برداری است. سایر کمیت‌های برداری نیز مانند جایه جایی‌ها

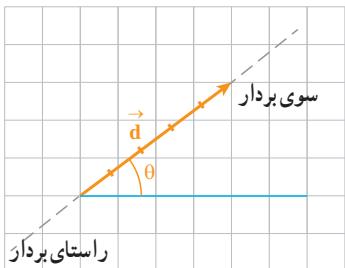
مع می شوند. از این رو قاعده جمع جایه جایی ها را قاعده جمع برداری نیز می نامند.

کمیت برداری کمیتی است که بزرگی (اندازه) و جهت (راستا و سو) دارد، و از قاعده جمع برداری پیروی می‌کند.

حاصل جمع چند بردار را برايند آن بردارها (يا بردار برايند) مي نامند.

فعالیت اول

با توجه به تساوی دو جایه‌جایی توضیح دهید که دو بردار چه وقت با هم مساویند؟



شكل ۱-۸- بردار  $\vec{d}$  با اندازه و جهت آن مشخص می شود. بزرگی این بردار  $d = |\vec{d}| = 5$  است.

کمیت‌های برداری را با پاره خط‌های جهت‌دار (پیکان) نمایش می‌دهند. پیکان را هم جهت با بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار درنظر می‌گیرند. در این کتاب کمیت‌های برداری را با پیکان کوچکی ( $\rightarrow$ ) مشخص می‌کنیم که بر روی نماد کمیت قرار می‌دهیم مانند  $\vec{d}$ . بزرگی بردار  $d$  را با  $| \vec{d} |$  و یا با نماد بدون پیکان آن (مانند  $d$ ) مشخص می‌کنند (شکل ۱-۸).

در این کتاب با کمیت‌های برداری دیگری از قبیل سرعت، شتاب، نیرو و ... آشنا خواهید

شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

۱۰۷

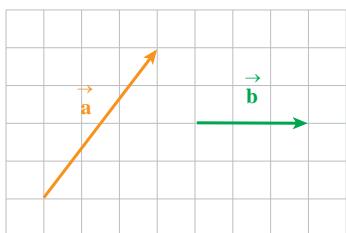
در شکل زیر پردازهای مساوی با پرداز  $a$  را مشخص کنید.



**پاسخ:** فقط بردار  $\vec{f}$  است که اندازه و جهت آن با بردار  $\vec{a}$  یکی است.

توجه داریم که جمع برداری دارای خاصیت **جا به جایی** است. یعنی حاصل جمع دو یا چند بردار به ترتیب بردارهاستگی ندارد.

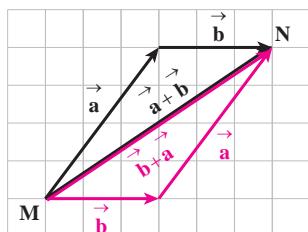
## مثال ۱-۱۴



دانش آموزی دو جا به جایی بی در بی انجام می دهد. هر یک از جا به جایی های او در شکل رویه روبره طور جداگانه نشان داده شده اند. جا به جایی برایند دانش آموز را در هر یک از حالت های زیر رسم کنید.

الف) جا به جایی اول برابر  $\vec{a}$  و جا به جایی دوم برابر  $\vec{b}$  باشد.

ب) جا به جایی اول برابر  $\vec{b}$  و جا به جایی دوم برابر  $\vec{a}$  باشد.

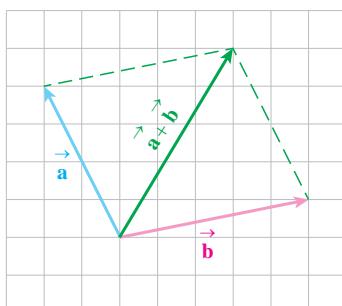


**پاسخ:** اگر دانش آموز در ابتدا روی نقطه M باشد، جا به جایی های بند الف را با رنگ سیاه و جا به جایی های بند را با رنگ قرمز، مطابق با قاعدة جمع برداری جمع می کنیم. با توجه به ویژگی های هندسی متوازی الاضلاع در می یابیم که در هر دو حالت، دانش آموز به یک نقطه (نقطه N) رسیده است.

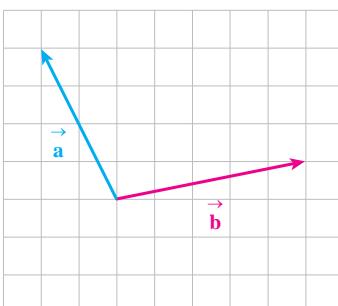
بادقت در شکل بالا در می یابیم که برای رسم بردار برایند، می توانیم از روش دیگری نیز استفاده کنیم:

ابتدا بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را از یک مبدأ رسم می کنیم (شکل ۱-۹-ب).

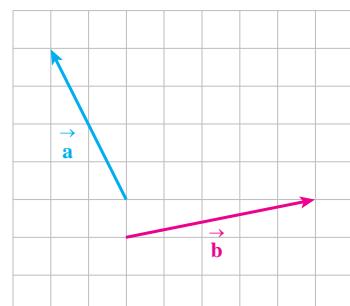
سبس متوازی الاضلاعی را رسم می کنیم که این دو بردار دو ضلع مجاور آن باشند. بردار برایند، قطری از متوازی الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس رو به رو وصل می کند شکل (۱-۹-پ). این روش جمع دو بردار را **روش متوازی الاضلاع** برای جمع بردارها می نامیم.



(پ)

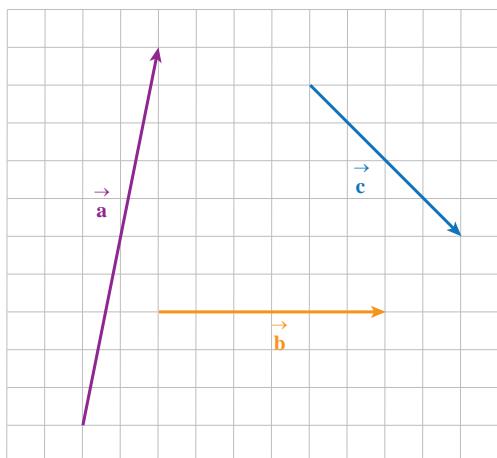


(ب)

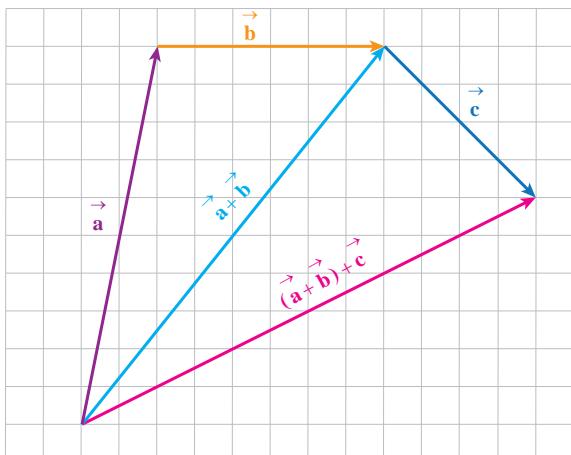


(الف)

شکل ۱-۹



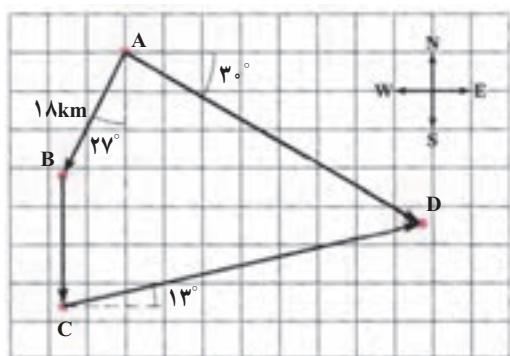
بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  را در شکل رویه رو درنظر بگیرید. بردار برایند آنها را بدست آورید.



**پاسخ:** مطابق شکل رویه رو ابتدا بردار  $\vec{a}$  و سپس از انتهای آن 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 بردار  $(\vec{a} + \vec{b})$  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.

با حل این مثال در می‌بایس 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 همین طور تا آخر رسم کنیم. بردار برایند، برداری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

## مثال ۱-۷



خودرویی از شهر A شروع به حرکت می‌کند و از شهرهای B و C می‌گذرد و به شهر D می‌رسد. این جا به جایی‌ها در شکل رو به رو نشان داده شده است. با استفاده از خط کش و نقاله و توجه به مقیاس،

(الف) اندازه جا به جایی های  $\vec{BC}$  و  $\vec{CD}$  را تعیین کنید.

(ب) بردار جا به جایی خودرو در کل مسیر را بیابید.

**پاسخ :**

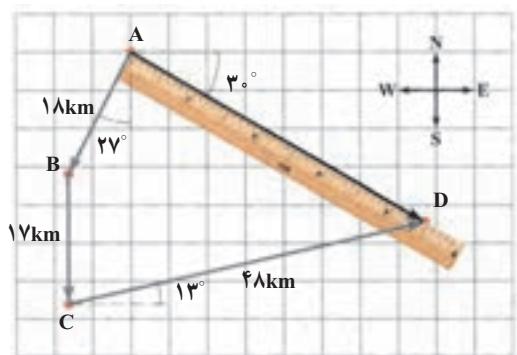
(الف) با استفاده از خط کش و با توجه به مقیاس، اندازه جا به جایی‌ها را به دست می‌آوریم.

$$|\vec{BC}| = BC = 17 \text{ km} \quad |\vec{CD}| = CD = 48 \text{ km}$$

(ب) بردار جا به جایی کل، برداری است که شهر A را به شهر D وصل می‌کند. با استفاده از خط کش و با توجه به مقیاس، اندازه جا به جایی کل به دست می‌آید.

$$|\vec{AD}| = AD = 45 \text{ km}$$

به کمک نقاله زاویه این بردار با راستای شرق - غرب،  $30^\circ$  به دست می‌آید. می‌توان این نتیجه را به صورت « $30^\circ$  جنوب شرق،  $60^\circ$  شرق جنوب» بیان کرد.



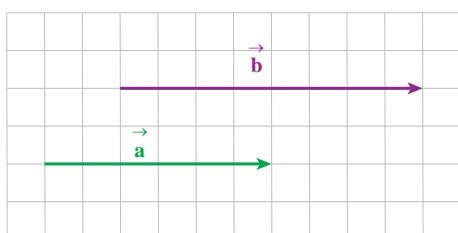
## تمرین ۱-۴

شخصی برای رسیدن به مقصد خود ابتدا در راستای شرق - غرب،  $40 \text{ km}$  به سمت شرق و سپس در راستای شمال - جنوب،  $20 \text{ km}$  به سمت جنوب می‌رود و سرانجام به اندازه  $30 \text{ km}$  در جهت  $25^\circ$  غرب جنوب جا به جا می‌شود. با استفاده از خط کش، نقاله و انتخاب مقیاس مناسب جا به جایی کل را پیدا کنید.

**محاسبه بزرگی بردار برایند :** در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه

محاسبه نیز بزرگی بردار برایند را به دست آورد.<sup>۱</sup>

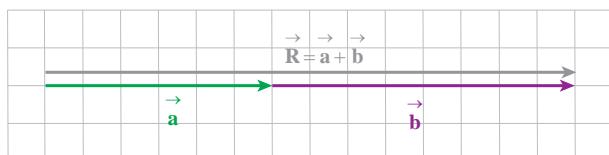
۱- در این کتاب تنها محاسبه بزرگی برایند بردارهای مدنظر است که یا در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. برای تعیین برایند دو بردار که با یکدیگر زاویه  $0^\circ$  می‌سازند، فقط باید از خط کش و نقاله استفاده شود، لذا بیان هر رابطه به این منظور و ارزش‌بایی از آن به طور کامل خارج از برنامه درسی این کتاب است.



(الف)

برایند بردارهای هم جهت  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  در شکل الف را به دست آورید.  
بزرگی دو بردار  $a = 3\text{cm}$  و  $b = 4\text{cm}$  است.

**پاسخ :** مطابق شکل ب ابتدا بردار  $\vec{a}$  و سپس از انتهای آن بردار  $\vec{b}$  را رسم می‌کنیم. بردار برایند نیز همان‌گونه که در شکل پیداست روی خط قرار می‌گیرند. بردار برایند همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم جهت با دو بردار  $a$  و  $b$  است و بزرگی آن برابر مجموع بزرگی‌های دو بردار می‌شود.



(ب)

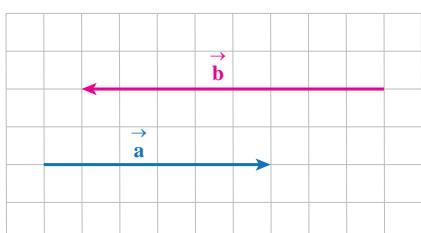
$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار هم جهت هستند، داریم :

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

با حل این مثال : در می‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار هم جهت  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  از رابطه زیر به دست می‌آید :

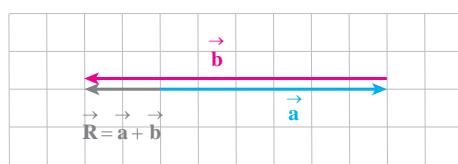
$$R = a + b \quad (1-1)$$



(الف)

در شکل الف برایند بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  که در خلاف جهت یکدیگرند و بزرگی آنها  $a = 3\text{m}$  و  $b = 4\text{m}$  است را به دست آورید.

**پاسخ :** مطابق شکل ب از انتهای بردار  $\vec{a}$  برداری مساوی بردار  $\vec{b}$  رسم می‌کنیم. بردار برایند همان‌گونه که در شکل پیداست، هم جهت با بردار بزرگتر (یعنی بردار  $\vec{b}$ ) است. بنابراین، بزرگی بردار برایند برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.



(ب)

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

چون دو بردار در خلاف جهت هم هستند، داریم :

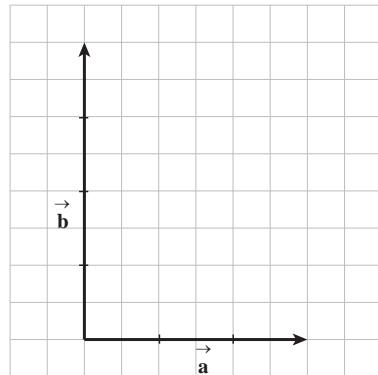
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$

با حل این مثال، درمی‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار هم راستا و در خلاف جهت هم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  از رابطه زیر به دست می‌آید.

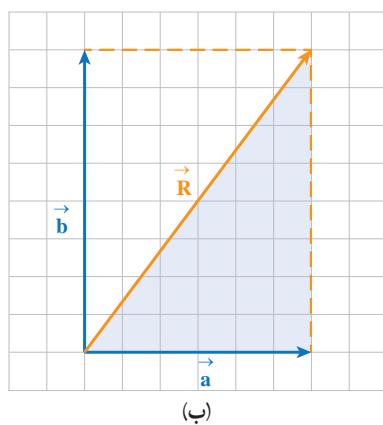
$$R = |\vec{a} - \vec{b}|$$

(۲-۱)

## مثال ۱



(الف)



(ب)

در شکل الف اندازه بردارهای عمود بر هم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  به ترتیب ۳ و ۴ واحد است. بزرگی برایند این دو بردار را با استفاده از رسم و همین‌طور با محاسبه به دست آورید.

**پاسخ:** برای به دست آوردن بردار برایند ( $\vec{R}$ )، مطابق قاعدة جمع برداری عمل می‌کنیم. اگر بزرگی  $\vec{R}$  را با خطکش اندازه بگیریم آن را ۵ واحد به دست می‌آوریم.

همان‌طور که در شکل ب دیده می‌شود  $\vec{R}$ ، وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که ضلعهای آن  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است. بنابراین، می‌توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورس بنویسیم.

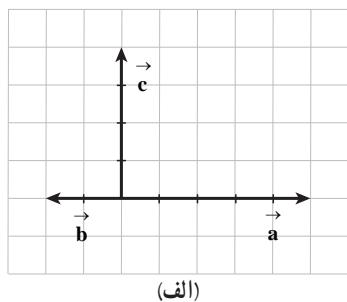
$$R^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow R = \sqrt{9+16} = 5$$

با حل این مثال، درمی‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار عمود بر هم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  از رابطه زیر به دست می‌آید :

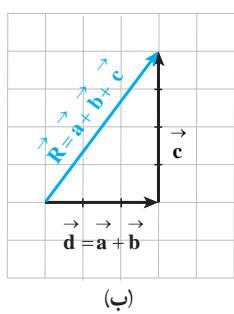
$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

(۳-۱)

مثال ۱-۱



برایند بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  در شکل الف را رسم و بزرگی برایند را محاسبه کنید. فرض کنید اندازه بردارها  $a=5\text{cm}$ ،  $b=2\text{cm}$ ،  $c=4\text{cm}$  باشد.



**پاسخ:** با توجه به اینکه ترتیب بردارها را می‌توانیم به هر صورت که بخواهیم تغییر دهیم، بهتر است اول برایند آنهایی را به دست آوریم که هم راستا هستند. برایند دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را  $\vec{d}$  می‌نامیم و ابتدا این برایند را به دست آوریم.  $\vec{d}$  برداری است هم جهت با  $\vec{a} + \vec{b}$  و بزرگی آن برابر  $=\sqrt{5^2 - 2^2} = 3\text{cm}$  است. اکنون برایند دو بردار  $\vec{c}$  و  $\vec{d}$  را مطابق شکل ب به دست آوریم.

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

### حاصل ضرب یک عدد در یک بردار

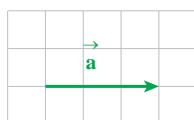
وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند  $m$  ضرب می‌کیم

جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن  $m$  برابر بردار اول است.

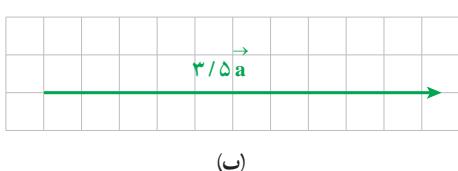
اگر برداری را در یک عددی منفی مانند  $m$  ضرب کنیم، بردار حاصل در خلاف جهت بردار

اولیه خواهد شد و بزرگی بردار حاصل  $|m|$  برابر بردار اول است.

مثال ۱-۱۱

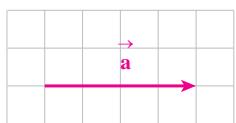


بردار  $\vec{a}$  در شکل رو به رو رسم شده است. بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  را رسم کنید.

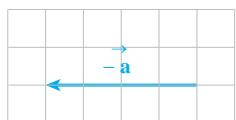


**پاسخ:** بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  هم جهت (هم راستا و همسو) با بردار  $\vec{a}$  و بزرگی آن  $\frac{3}{5}$  برابر بزرگی بردار  $\vec{a}$  است.

## مثال ۱-۱۲



(الف)



(ب)

بردار  $\vec{a}$  در شکل رو به رو رسم شده است. بردار  $\vec{a}$ - را رسم کنید. این بردار را قرینهٔ بردار  $\vec{a}$  نیز می‌گویند.

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

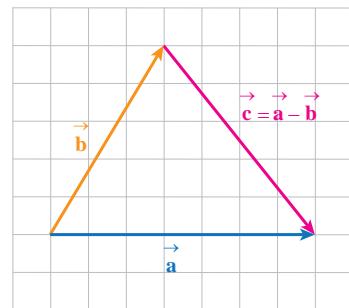
**تفريق دو بردار:** حاصل تفريقي دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  برداری مانند  $\vec{c}$  است.

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

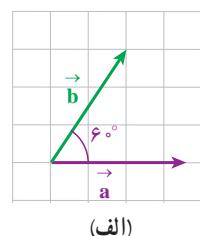
$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$$

در شکل ۱-۱۰، بردارهای  $\vec{a}$ ،  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  طوری رسم شده‌اند که  $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$  شود.

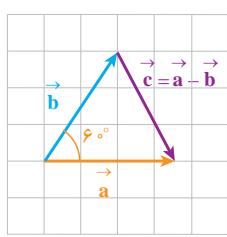
بنابراین برای به دست آوردن  $\vec{c}$ ، نخست دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را از یک نقطه رسم می‌کنیم. برداری که ابتدای آن بر انتهای بردار  $\vec{b}$  (عامل دوم تفريقي) و انتهای آن بر انتهای بردار  $\vec{a}$  (عامل اول تفريقي) منطبق باشد، بردار  $\vec{c}$  است.



شکل ۱-۱۰- حاصل تفريقي دو بردار



(الف)



(ب)

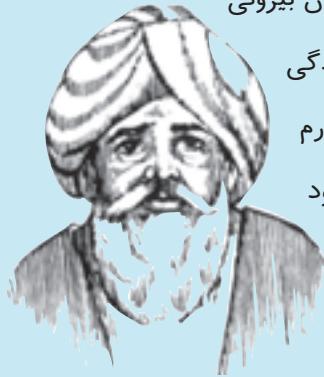
دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  مطابق شکل الف با یکدیگر زاویه  $60^\circ$  می‌سازند و بزرگی آنها با هم برابر است. بردار  $\vec{b} - \vec{a} = \vec{c}$  را به دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.

**پاسخ:** با توجه به شکل ب، بردار  $\vec{c}$  برداری است که از انتهای  $\vec{b}$  شروع و به انتهای  $\vec{a}$  ختم می‌شود. بزرگی این بردار با توجه به آنکه مثلث حاصل در شکل ب متساوی الاضلاع است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است یعنی :

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

## ابوبکر محمدبن حسین کرجی

ابوبکر محمدبن حسین کرجی هم روزگار با ابوریحان بیرونی



و زکریای رازی بوده است و ۳۲ سال پیش از ابوریحان زندگی را بدروod گفت. از تاریخ تولد این دانشمند ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری اطلاع دقیقی در دست نیست. تحصیلات خود را در شهری که آن زمان مرکز دانشمندان اسلامی بود به اتمام رساند و سپس برای آشنایی با دانشمندان دیگر و تحصیلات بیشتر راهی بغداد شد و در کرخ بغداد سکنی

گزید. از همین رو در تاریخ او را با نام کرخی هم شناخته‌اند که این

مسئله یک اشتباه تاریخی است و برخی گمان کرده‌اند که چون محل تحصیلات او در کرخ بوده است، نام او کرخی است و تقریباً همهٔ مورخان نسبت او را کرخی نامیده بودند تا اینکه در سال ۱۹۳۴ میلادی دانشمندی ایتالیایی در مقاله‌ای ثابت کرد که این دانشمند کرجی نام دارد و یک ایرانی است و نه عراقی؛ و از آن پس همهٔ مؤلفان از او به نام کرجی یاد کرده‌اند. کرجی در بغداد، در زمان تصرف این شهر به دست آل بویه به تحصیل مشغول بود و با فرزند عضدادوله دیلمی بهاءالدوله و وزیر او ارتباط برقرار ساخت و حتی کتاب «الفخری فی صناعی الجبر و المقابلی» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب انباطمیاه الخفی (به معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد.

از نوشته‌های کرجی در این کتاب چنین برمی‌آید که او دربارهٔ ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی آن دانش فراوانی داشته است. برای نمونه، او از راه بهره‌وری از خاک رُس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن رانده است. کرجی همچنین در ساختن روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری نیز جایگاه والایی در تاریخ مهندسی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندا (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، اختراع‌های خود را که در برگیرندهٔ ترازو و چند وسیلهٔ اندازه‌گیری دیگر است، تشریح می‌کند.

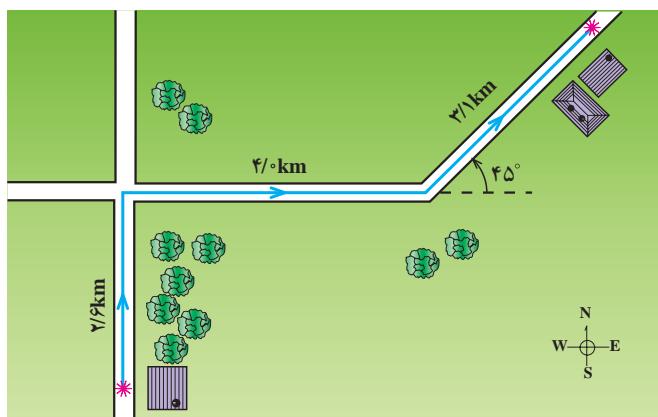
وجود نام این دانشمند بزرگ به مدت دو دهه در دایرةالمعارف علوم نیویورک نشان از شهرت جهانی این مرد بزرگ دارد که متأسفانه در کشور ما ناشناخته مانده است.

## پرسش‌های فصل اول

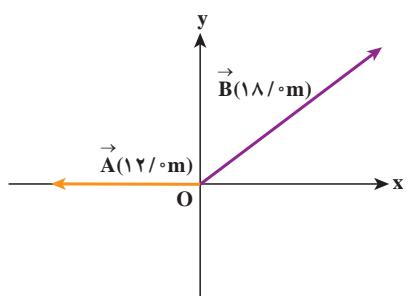
- ۱ گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.
- ۲ جرم یک سنجاق نه گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟
- ۳ روش‌هایی برای اندازه‌گیری ارتفاع یک برج پیشنهاد دهید.
- ۴ می‌دانیم جمع دو بردار جابه‌جاپذیر است. آیا تفاضل بردارها نیز جابه‌جاپذیر است؟ به طوری که  $\vec{b} - \vec{a}$  و  $\vec{a} - \vec{b}$  مساوی باشد؟

## مسائل فصل اول

- ۱ جرم ذره غباری  $10^{-10}$  کیلوگرم است. جرم آن را بر حسب گرم، میلی‌گرم، میکروگرم و نانوگرم بنویسید.
- ۲ در بعضی از جدول‌ها زمان گردش زمین به دور خورشید ۳۱ مگا ثانیه و طول عمر متوسط انسان ۲ گیگا ثانیه اعلام شده است. این دو طول زمان را با هم مقایسه کنید.
- ۳ یکی از راه‌های اندازه‌گیری عمق آب اقیانوس‌ها آن است که یک موج فرacoتی را از سطح آب به اعماق آب می‌فرستند. این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب بازمی‌گردد و در سطح آب آشکارسازی می‌شود. با اندازه‌گیری بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فرacoتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصله سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می‌شود. اگر بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فرacoتی  $14s$  و سرعت انتشار صوت در آب  $1450\text{ m/s}$  باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.
- ۴ ابعاد سلول‌ها و باکتری‌ها  $1\mu\text{m}$ ، اندازه قطر نوک خودکار معمولی  $1\text{ mm}$  و قطر نوک انگشت کوچک انسان  $1\text{ cm}$  است. این ابعاد بر حسب  $\text{nm}$  چقدرند؟
- ۵ قلب یک ورزشکار در هر ثانیه (در حال استراحت)  $90\text{ cm}^3$  خون می‌کشد. در طول یک شبانه‌روز چه مقدار خون بر حسب  $\text{m}^3$  کشیده می‌شود؟
- ۶ سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هسپروبوکاویلی است که در طی  $14$  روز،  $3/7\text{ m}$  رشد می‌کند. آهنگ رشد این گیاه بر حسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟
- ۷ دایره بزرگی بکشید و محیط و قطر آن را با بیشترین دقّتی که می‌توانید به کمک متر پارچه‌ای و یا نخ اندازه بگیرید. با استفاده از این مقادیر، عدد  $\pi$  را با بیشترین دقّتی که می‌توانید به دست آورید.



۸ یک پستچی از نقطه شروع حرکت خود در شکل رو به رو مسیری را می‌پماید که در شکل نشان داده شده است. بردار جابه‌جایی کل را رسم و بزرگی آن را با مقیاس مناسب به دست آورید.



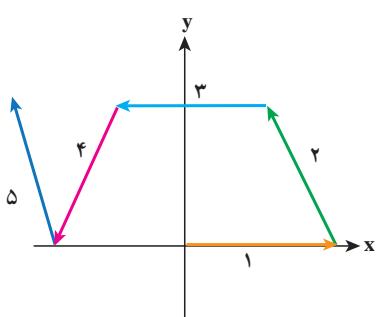
۹ برای دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  در شکل رو به رو  
 الف) بردار  $\vec{A} + \vec{B}$   
 ب) بردار  $\vec{A} - \vec{B}$   
 را با رسم نمودار به دست آورید.

۱۰ شخصی ۸ متر به طرف شمال حرکت می‌کند و سپس جهت حرکت خود را عوض می‌کند و ۴ متر به طرف جنوب می‌رود. بزرگی و جهت بردار جابه‌جایی او چقدر است؟

۱۱ بزرگی بردار  $\vec{a}$  برابر ۲ و در جهت غرب به شرق است. به علاوه می‌دانیم  $\vec{b} = -2\vec{a}$ . بزرگی و جهت بردارهای زیر را تعیین کنید.

$$\vec{a} - \vec{b} \quad \vec{a} + \vec{b} \quad \vec{b}$$

۱۲ نوعی مورچه کویری که در بیابان‌ها زندگی می‌کند، وقتی به دنبال غذای است، حرکتش را از لانه‌اش آغاز می‌کند و پس از طی مسیری درهم و برهم به مقصد می‌رسد. این مورچه ممکن است نیم کیلومتر در چنین مسیر پیچیده‌ای، روی شن‌زار هموار و بی‌شکل حرکت کند، بی‌آنکه هیچ ردی از خود بر جای گذارد. با این حال، این مورچه به طریقی می‌داند که چگونه مستقیماً به سمت لانه‌اش باز گردد. به عنوان مثالی فرض کنید این مورچه پنج مسیر ۶ سانتی‌متری را در جهت‌های نشان داده شده در شکل با شروع از لانه‌اش طی کند. بردار جابه‌جایی کل را که مورچه بر روی آن به لانه خود بازمی‌گردد، با رسم نموداری با مقیاس مناسب به دست آورید.





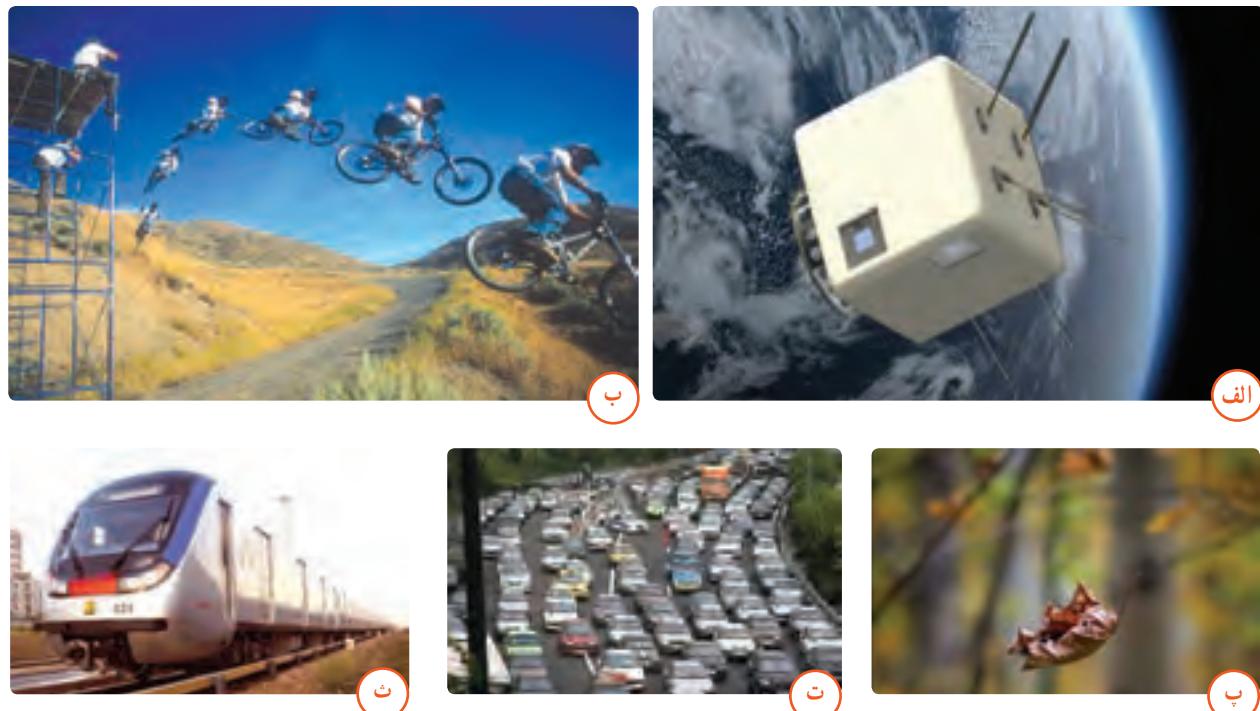
## حرکت در خط راست

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



جاده‌ای در تپه‌های هنوب سمنان

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می‌کنید، حرکت‌های بسیاری را می‌بینید. افرادی که از شما دور یا به شما نزدیک می‌شوند، خودروهایی که با سرعت‌های متفاوت در حرکت‌اند، افرادی که با دوچرخه در حال رفتن به محل کار خود هستند، پرنده‌گانی که در فضا پرواز می‌کنند، برگ‌هایی که از درخت می‌افتد و ... (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲ – تصویرهایی از حرکت در دنیای پیرامون ما



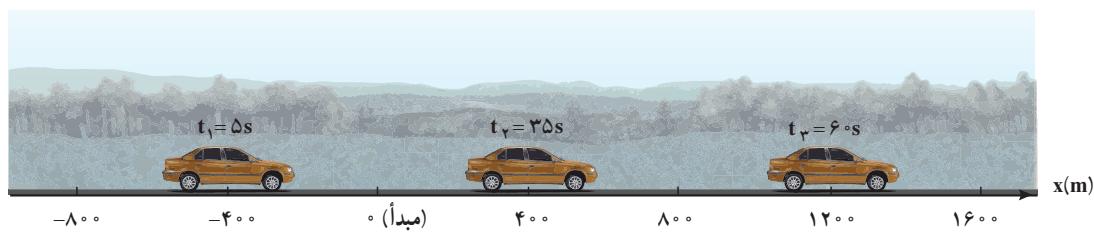
شکل ۲-۲ – حرکت دوچرخه‌سوار

زمانی که حرکت‌هایی مانند افتادن یک برگ از شاخه درخت یا حرکت یک خودرو و ... را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهرًاً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیشتر موارد، حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را در نظر بگیرید (شکل ۲-۲). اگرچه این حرکت ساده به نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار بیچیده 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.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آنها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار شود. بنابراین بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون درنظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع می‌کنیم. همچنین به منظور سادگی بیشتر، تنها به حرکت یک جسم روی مسیر مستقیم (خط راست) که یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است می‌پردازیم.

## ۱-۲ مکان، جابه‌جایی

حرکت خودرویی در یک بزرگراه مستقیم را در نظر می‌گیریم. برای بررسی حرکت این خودرو، یک محور مانند محور  $x$  در راستای بزرگراه انتخاب می‌کنیم. جهت این محور می‌تواند هم سوی حرکت خودرو یا در خلاف سوی آن باشد. مکانی از بزرگراه را به عنوان مبدأ محور ( $x=0$ ) در نظر می‌گیریم (شکل ۳-۲). اگر محور را مدرج کنیم، می‌توانیم مکان خودرو را در هر لحظه گزارش نماییم. یعنی مثلاً بگوییم در لحظه  $t_1 = 5\text{ s}$ ، مکان خودرو  $x_1 = -400\text{ m}$  است (شکل ۳-۲).

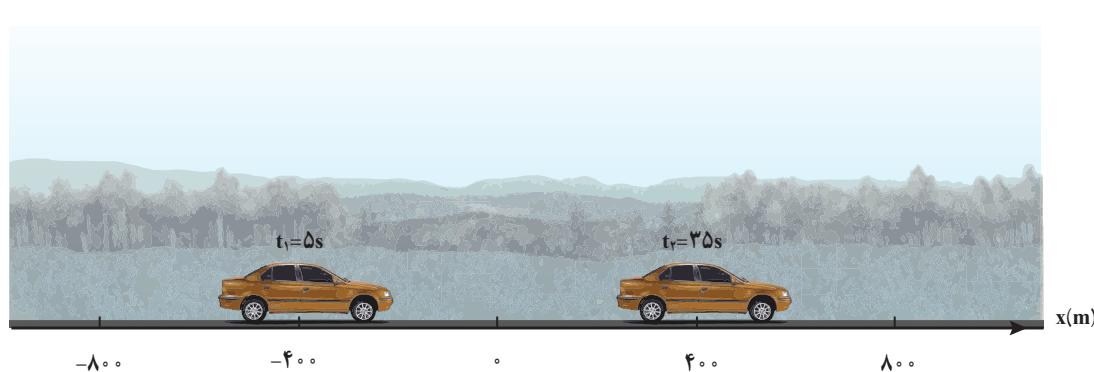


شکل ۳-۲- مکان خودرو در لحظات مختلف

در شکل ۴-۲ خودرو از لحظه  $t_1 = 5\text{ s}$  تا لحظه  $t_2 = 35\text{ s}$  از مکان  $x_1 = -400\text{ m}$  تا مکان  $x_2 = +400\text{ m}$  جابه‌جا شده است. جابه‌جایی خودرو در این بازه زمانی برابر است با:  

$$\Delta x = x_2 - x_1 = +400 - (-400) = +800\text{ m}$$

با توجه به علامت مثبت جابه‌جایی به‌دست آمده، خودرو در این بازه زمانی در جهت مثبت محور  $x$  جابه‌جا شده است.



شکل ۴-۲- جابه‌جایی خودرو در بازه زمانی  $t_2$  تا  $t_1$

بنابراین اگر متحرک در لحظه  $t_i$  در مکان  $x_i$  و در لحظه  $t_f$  در مکان  $x_f$  باشد<sup>۱</sup>، جایه جایی آن در بازه زمانی  $t_i$  تا  $t_f$ ، از رابطه ۱-۲ بدست می‌آید.

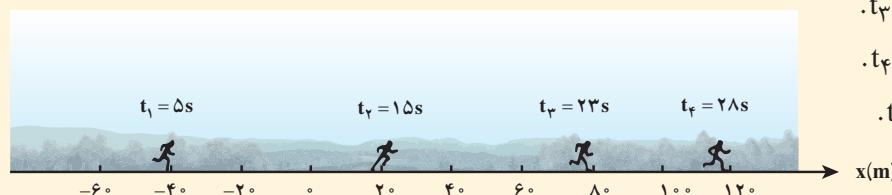
$$\Delta x = x_f - x_i \quad (1-2)$$



شکل ۲-۵- جایه جایی در بازه زمانی  $t_i$  تا  $t_f$

### تمرین ۱-۴

شکل زیر، مکان دونده‌ای که روی مسیری مستقیم می‌دود، در لحظات مختلف را نشان می‌دهد. جایه جایی دونده در هریک از بازه‌های زمانی زیر چند متر است؟



الف) از  $t_1$  تا  $t_3 = 23s$ .

ب) از  $t_3$  تا  $t_4 = 15s$ .

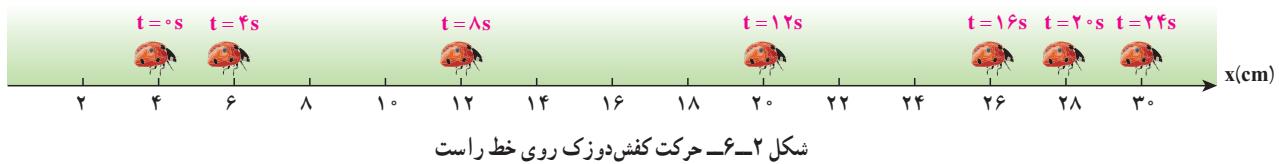
پ) از  $t_1$  تا  $t_4 = 28s$ .

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



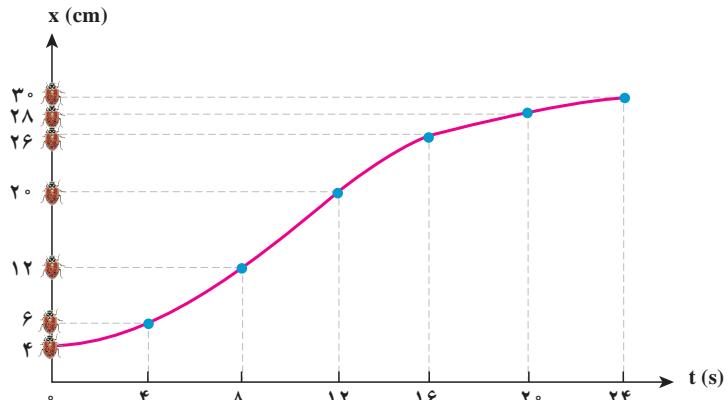
برای مثال، به حرکت کفش‌دوزک که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، توجه کنید. این کفش‌دوزک در لحظه  $t_1 = 0s$  در مکان  $x_1 = 4cm$  قرار دارد، در  $t_2 = 4s$  در مکان  $x_2 = 6cm$  قرار دارد و ... . اگر بخواهیم نمودار مکان – زمان حرکت کفش‌دوزک را رسم کنیم، ابتدا هریک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرج کرده و در زمان‌های داده شده، مکان کفش‌دوزک را روی محور قائم تعیین می‌کنیم و سپس نمودار مکان – زمان را همانند شکل ۷-۲ رسم می‌نماییم.

۱- حرف  $i$  از اول کلمه انگلیسی initial به معنای اولیه و حرف  $f$  از اول کلمه final به معنای نهایی گرفته شده است.



با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متوجه در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جایه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در بازه زمانی  $12\text{s}$  آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در بازه زمانی  $12\text{s}$  تا  $16\text{s}$  جایه‌جایی آن  $6\text{cm} = 26 - 20$  است.

شکل ۲-۷- نمودار مکان-زمان کفشدوزک

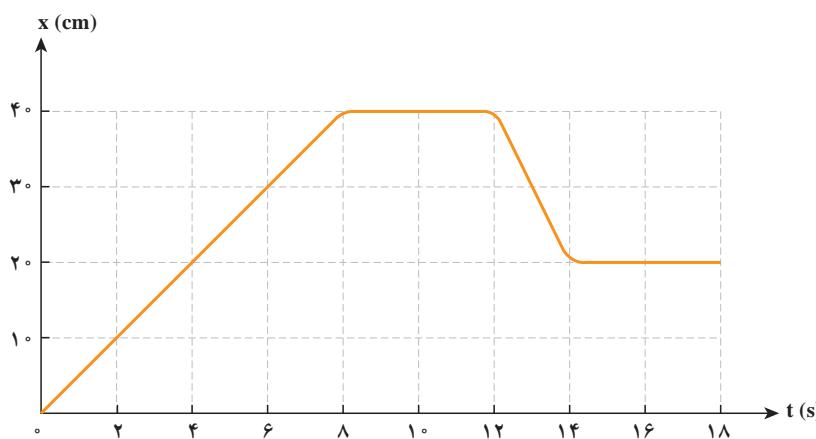


### تمرین ۲-۷

$t(\text{s})$	۰	۱	۲	۳	۴	۵
$x(\text{m})$	۰	-1	۰	۳	۸	۱۵

جدول روبه‌رو مکان متوجه در لحظه‌های داده شده در جدول را نشان می‌دهد. نمودار مکان-زمان این متوجه را رسم کنید.

### مثال ۲-۷



مورچه‌ای روی یک خط راست در حرکت است. نمودار مکان-زمان مورچه به شکل روبه‌رو است.

- الف) در چه بازه زمانی مورچه در جهت محور  $x$  حرکت می‌کند؟
- ب) در چه بازه زمانی مورچه در خلاف جهت محور  $x$  حرکت می‌کند؟
- پ) در چه بازه‌های زمانی مورچه ایستاده است؟

- ت) در چه لحظه‌هایی فاصله مورچه از مبدأ  $30\text{cm}$  است؟
- ث) در چه بازه زمانی فاصله مورچه از مبدأ بیشترین مقدار است؟
- ج) جایه‌جایی مورچه در بازه زمانی  $4\text{s}$  تا  $8\text{s}$  چند سانتی‌متر است؟

پاسخ :

الف) از لحظه  $t=0\text{ s}$  تا لحظه  $t=8\text{ s}$

ب) از لحظه  $t=8\text{ s}$  تا لحظه  $t=12\text{ s}$

پ) در بازه‌های زمانی  $t=12\text{ s}$  تا  $t=14\text{ s}$  و  $t=14\text{ s}$  تا  $t=18\text{ s}$

ت) در لحظه‌های  $t=12\text{ s}$  و  $t=13\text{ s}$

ث) در بازه زمانی  $t=12\text{ s}$  تا  $t=18\text{ s}$

$$\Delta x = x_f - x_i = 40 - 20 = +20 \text{ cm}$$

ج)

### مثال م\_۲



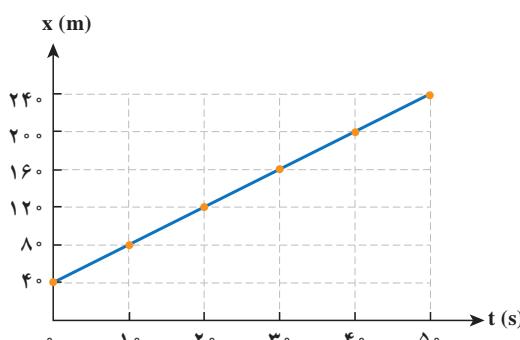
رابطه بین مکان و زمان برای دوچرخه‌سواری که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند، از لحظه  $t=0\text{ s}$  تا لحظه  $t=60\text{ s}$  به صورت  $x=4t+40$  است که در آن،  $x$  بر حسب متر و  $t$  بر حسب ثانیه است.

الف) نمودار مکان – زمان دوچرخه‌سوار را در بازه زمانی  $t=0\text{ s}$  تا  $t=50\text{ s}$  رسم کنید.

ب) جایه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازه زمانی  $t=0\text{ s}$  تا  $t=60\text{ s}$  را به دست آورید.

پاسخ :

الف) برای رسم نمودار، مکان دوچرخه‌سوار را در چند لحظه، از جمله در  $t=0\text{ s}$  (لحظه صفر، لحظه شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم)،  $t=10\text{ s}$ ،  $t=20\text{ s}$ ، ... و  $t=50\text{ s}$  به دست می‌آوریم و با استفاده از نقطه‌های به دست آمده خطی که این نقطه‌ها می‌گذرد را رسم می‌کنیم.



$t(s)$	$x(m)$
0	40
10	80
20	120
30	160
40	200
50	240

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  $t=0\text{ s}$  و  $t=50\text{ s}$  نیز می‌توان نمودار را رسم نمود.

(ب)

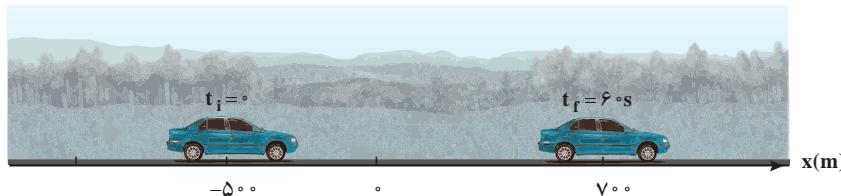
$$t_i = 0\text{ s} \Rightarrow x_i = 40\text{ m}$$

$$t_f = 60\text{ s} \Rightarrow x_f = 4 \times 60 + 40 = 244\text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_i = 0\text{ s} \Rightarrow x_i = 40\text{ m} \\ t_f = 60\text{ s} \Rightarrow x_f = 4 \times 60 + 40 = 244\text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta x = x_f - x_i = 244 - 40 = +200\text{ m}$$

## ۲-۲ سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای

شکل ۲-۸ مکان خودرویی را که در حرکت است در دو لحظه متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸- مکان خودرو در دو لحظه متفاوت

$$\Delta x = x_f - x_i = 70 - (-50) = +120 \text{ m} \quad \text{به اندازه } t_i = 0 \text{ تا لحظه } t_f = 6 \text{ s}$$

در جهت محور  $x$  جابه‌جا شده است، یعنی به طور متوسط در هر ثانیه  $20 \text{ m}$  در جهت محور  $x$  جابه‌جا شده

$$\text{است } (\frac{120 \text{ m}}{6 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}). \quad \text{در فیزیک به نسبت جابه‌جا شدن جسم می‌گویند و آن را به صورت زیر نشان می‌دهند:$$

می‌گویند و آن را به صورت زیر نشان می‌دهند :

$$\frac{\text{جابه‌جا شدن}}{\text{زمان جابه‌جا شدن}} = \text{سرعت متوسط} \quad (2-2)$$

جابه‌جا شدن را با  $\Delta x$ ، زمان جابه‌جا شدن را با  $\Delta t$  و سرعت متوسط را با  $\bar{v}$  نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۲-۲ را به صورت زیر بنویسیم :

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3-2)$$

در رابطه ۳-۲ یکای  $\Delta x$ ، متر ( $\text{m}$ )، یکای  $\Delta t$ ، ثانیه ( $\text{s}$ ) و یکای  $\bar{v}$ ، متر بر ثانیه ( $\text{m/s}$ ) است.

البته یکاهای دیگری مانند  $\text{mil/h}$ ,  $\text{km/h}$  و ... نیز برای سرعت استفاده می‌شود. توجه داریم سرعت متوسط یک جسم متحرک همواره با جابه‌جا شدن آن هم جهت است.

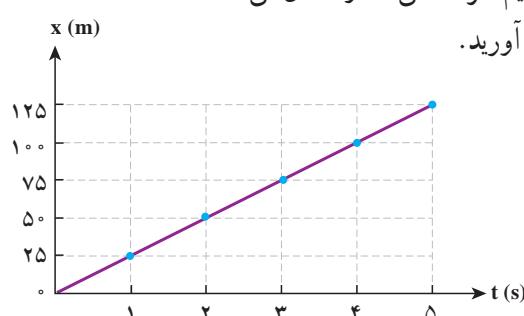
### مثال ۲-۲

شکل زیر، نمودار مکان-زمان خودرویی که روی مسیر مستقیم حرکت می‌کند را نشان می‌دهد.

الف) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های زمانی زیر را به دست آورید.

$$1- \text{از } t=0 \text{ تا } t=2 \text{ s} \quad 2- \text{از } t=2 \text{ s} \text{ تا } t=4 \text{ s} \quad 3- \text{از } t=4 \text{ s} \text{ تا } t=5 \text{ s}$$

$$4- \text{از } t=2 \text{ s} \text{ تا } t=4 \text{ s} \quad 5- \text{از } t=3 \text{ s} \text{ تا } t=5 \text{ s}$$



ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ :

$$1) \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{2 - 0} = 25 \text{ m/s}$$

$$2) \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 40}{4 - 0} = 25 \text{ m/s}$$

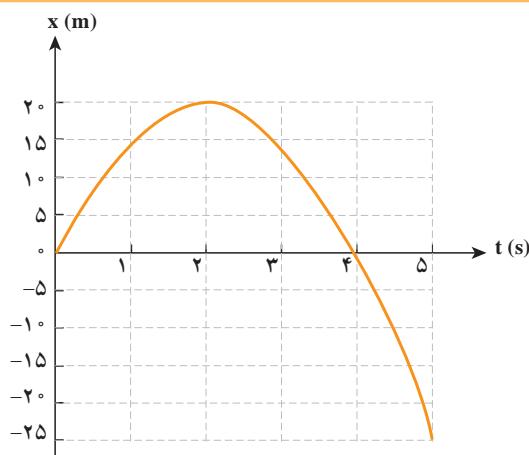
$$3) \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 50}{4 - 2} = 25 \text{ m/s}$$

$$4) \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 50}{5 - 2} = 25 \text{ m/s}$$

$$5) \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 75}{5 - 3} = 25 \text{ m/s}$$

ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند الف، در می‌یابیم که سرعت متوسط خودرو در همه بازه‌های زمانی مختلف مساوی بوده است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو، ثابت است.

### مثال ۲-۱۴



بازه زمانی	$\Delta x(m)$	$\bar{v}(m/s)$
$t=2s$ تا $t=0s$ از		
$t=4s$ تا $t=0s$ از		
$t=4s$ تا $t=2s$ از		
$t=5s$ تا $t=2s$ از		
$t=5s$ تا $t=2s$ از		

شکل مقابل، نمودار مکان – زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند را نشان می‌دهد.

الف) با استفاده از شکل، ستون مربوط به جایه‌جایی و سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، در جدول زیر را کامل کنید.

ب) در کدام بازه زمانی، در جدول، اندازه سرعت متوسط بیشینه و در کدام یک اندازه سرعت متوسط کمینه است؟  
پ) در کدام بازه‌های زمانی در جدول، سرعت متوسط در جهت محور x و در کدام بازه‌ها، سرعت متوسط در خلاف جهت محور x است؟

ت) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ :

الف)

بازه زمانی	$\Delta x(m)$	$\bar{v}(m/s)$
از $t=2s$ تا $t=0s$	+20	+10
از $t=4s$ تا $t=0s$	0	0
از $t=4s$ تا $t=2s$ از	-20	-10
از $t=5s$ تا $t=2s$ از	-45	-15
از $t=5s$ تا $t=2s$ از	-40	-20

- ب) در بازه  $t=3s$  تا  $t=5s$ ، اندازه سرعت متوسط بیشینه، و در بازه  $t=0s$  تا  $t=4s$  اندازه سرعت متوسط کمینه است.
- پ) در بازه های زمانی که علامت سرعت متوسط، مثبت است، سرعت متوسط در جهت محور  $x$  و در بازه های زمانی که علامت سرعت متوسط، منفی است، سرعت متوسط در خلاف جهت محور  $x$  است.
- ت) از مقایسه سرعت های متوسط به دست آمده در بازه های زمانی مختلف، در می باییم سرعت متوسط خودرو در بازه های زمانی مختلف، متفاوت است. در این حالت اصطلاحاً می گوییم سرعت خودرو متغیر است.

سرعت متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را [سرعت لحظه‌ای](#) می گویند. در حالت هایی مانند مثال ۲-۳ که سرعت متوسط در بازه های زمانی مختلف، یکسان است، سرعت لحظه‌ای با سرعت متوسط برابر است؛ اما در حالت هایی مانند مثال ۲-۴ که سرعت متوسط در بازه های زمانی مختلف، متفاوت است، سرعت لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. توجه داریم که سرعت سنج خودرو (شکل ۹-۲) در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای خودرو را نشان می دهد. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم سرعت لحظه‌ای بیشتر آشنا می شویم.

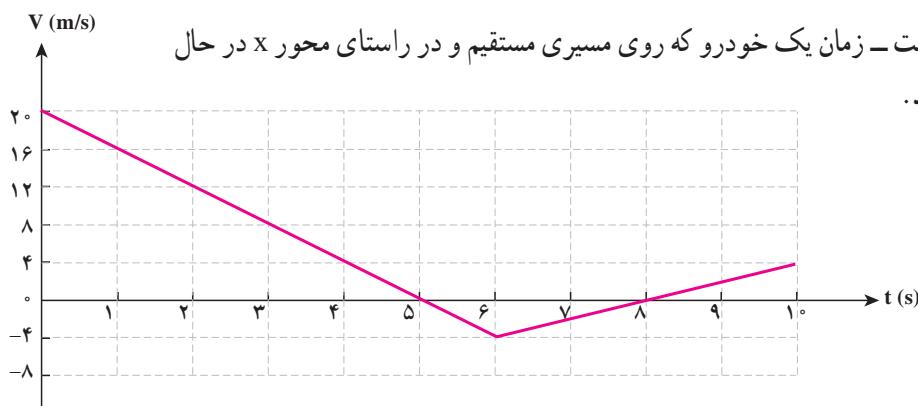
سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می نامیم و آن را با  $v$  نشان می دهیم. یکای سرعت لحظه‌ای در SI، متر بر ثانیه ( $m/s$ ) است. جدول ۱-۲، برخی از سرعت های تقریبی را نشان می دهد.

جدول ۱-۲- برخی از سرعت های تقریبی

$10^{-3}m/s$	سرعت حلقون
$2m/s$	راه رفتن سریع
$10m/s$	دونده دوی سرعت
$30m/s$	سرعت بیشینه خودرو در بزرگراه
$500m/s$	حرکت کاتورهای مولکول های هوا
$1000m/s$	سرعی ترین هواپیما
$3000m/s$	ماهواره مخابراتی در مدار
$8300m/s$	سرعت فضایپیمای خاص
$2/98 \times 10^4 m/s$	سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^4 m/s$	سرعت دنباله دار هالی
$2 \times 10^6 m/s$	سرعت الکترون در حرکت مداری
$3/0 \times 10^8 m/s$	سرعت نور در خلأ یا هوا



شکل ۹-۲- سرعت سنج خودرو در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای را نشان می دهد.



شکل زیر نمودار سرعت – زمان یک خودرو که روی مسیری مستقیم و در راستای محور  $x$  در حال حرکت است را نشان می‌دهد.

- (الف) در چه بازه‌های زمانی، خودرو در جهت محور  $x$  در حرکت بوده است؟  
 (ب) در چه بازه‌زمانی، خودرو در خلاف جهت محور  $x$  در حرکت بوده است?  
 (پ) در چه زمان‌هایی خودرو توقف لحظه‌ای داشته است?  
 (ت) در چه لحظه‌هایی خودرو در حرکتش تغییر جهت داده است?  
 (ث) سرعت خودرو را در لحظات  $t_i = 0\text{ s}$ ,  $t_r = 5\text{ s}$ ,  $t_v = 6\text{ s}$ ,  $t_f = 10\text{ s}$  تعیین کنید.  
 (ج) در بازه زمانی  $t_i = 0\text{ s}$  تا  $t_f = 10\text{ s}$  تغییر سرعت خودرو را به دست آورید.

**پاسخ:**

(الف) در بازه زمانی  $t = 0\text{ s}$  تا  $t = 5\text{ s}$  و همچنین  $t = 5\text{ s}$  تا  $t = 6\text{ s}$ .

(ب) در بازه زمانی  $t = 5\text{ s}$  تا  $t = 6\text{ s}$ .

(ت) در لحظه‌های  $t = 5\text{ s}$  و  $t = 6\text{ s}$ .

$$t_i = 0\text{ s} \Rightarrow v_i = +12\text{ m/s}$$

$$t_f = 10\text{ s} \Rightarrow v_f = +4\text{ m/s}$$

$$t_r = 5\text{ s} \Rightarrow v_r = -4\text{ m/s}$$

$$t_v = 6\text{ s} \Rightarrow v_v = -2\text{ m/s}$$

(ج)

$$\left. \begin{array}{l} t_i = 0\text{ s} \Rightarrow v_i = +12\text{ m/s} \\ t_f = 10\text{ s} \Rightarrow v_f = +4\text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta v = v_f - v_i = 4 - 12 = -8\text{ m/s}$$

در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است، در چند لحظه مشخص شده است.

- (الف) نمودار سرعت – زمان را برای آن رسم کنید.  
 (ب) از روی نمودار در مورد نحوه تغییر سرعت متحرک بحث کنید.

$t(s)$	۰	۱	۲	۳	۴	۵
$v(m/s)$	۰	$0/7$	$1/2$	$1/5$	$1/6$	$1/5$

### ۳-۲ حرکت یکنواخت

هرگاه سرعت لحظه‌ای متغیر کی که بروی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن یکنواخت نامیده می‌شود، مانند حرکت خودرویی که در یک بزرگراه و در مسیری مستقیم با سرعت ثابت در حال حرکت است. در این حرکت نمودار مکان – زمان، یک خط راست است مانند شکل ۲-۱ و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با سرعت لحظه‌ای برابر است. بنابراین :

$$v = \bar{v} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (4-2)$$

از رابطه ۴-۲ می‌توان نوشت :

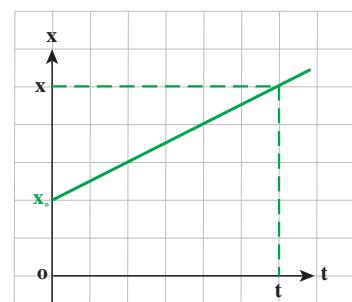
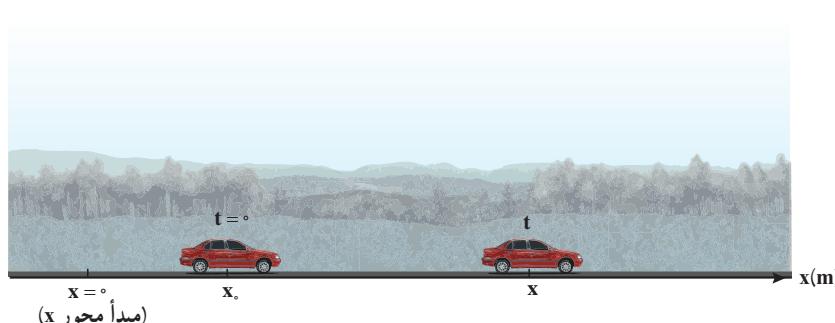
$$\Delta x = v \Delta t \quad (5-2)$$

اگر متوجه در لحظه  $t = 0$  در مکان  $x_0$  و در لحظه  $t$  در مکان  $x$  باشد :

$$x - x_0 = v(t - 0) \quad \text{و یا :}$$

$$x = vt + x_0 \quad (6-2)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند،  $x$  بر حسب متر (m)،  $v$  بر حسب متر بر ثانیه، (m/s)،  $t$  بر حسب ثانیه (s) و  $x_0$  نیز بر حسب متر (m) است. باید توجه داشت مکان ( $x_0, x$ ) می‌تواند مثبت یا منفی باشد. سرعت ( $v$ ) هم در صورتی که در جهت محور  $x$  باشد مثبت و در غیر این صورت منفی است.



شکل ۲-۱- نمودار مکان – زمان در حرکت با سرعت ثابت با فرض مثبت بودن  $x$  و  $v$

#### مثال ۴-۲

معادله حرکت قطاری که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، در SI به صورت  $x = 20t + 2000$  است. (مبدأ مختصات، ایستگاه در نظر گرفته شده است).

الف) سرعت قطار چند متر بر ثانیه و چند کیلومتر بر ساعت است؟

ب) مکان قطار در  $s = t = 0$  و  $t = 500$  s را بحسب متر و کیلومتر تعیین کنید.

پ) اگر قطار با همین سرعت به حرکت خود ادامه دهد، در مدت  $1/5$  h چند کیلومتر مسافت می‌پیماید؟

ت) نمودار مکان–زمان قطار را در بازه زمانی  $0 \leq t \leq 600$  s رسم کنید.

**پاسخ :**

الف) با مقایسه معادله حرکت قطار با رابطه  $s = vt$  معلوم می‌شود که سرعت قطار  $20 \text{ m/s}$  است.

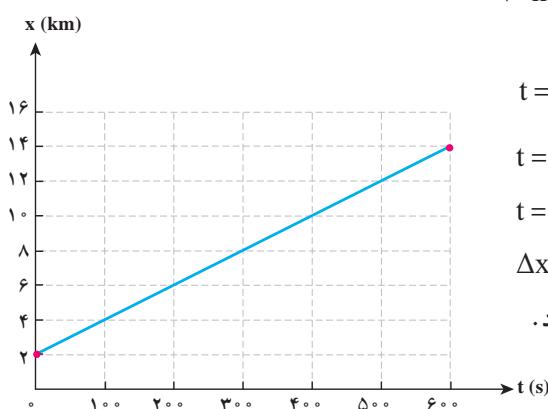
$$20 \text{ m/s} = 20 \times \frac{1 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 20 \times \frac{3600}{1} \text{ km/h} = 72 \text{ km/h}$$

$$t = 0 \Rightarrow x = 20 \times 0 = 0 \text{ km} \quad (\text{ب})$$

$$t = 100 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 100 + 0 = 2000 \text{ m} = 2 \text{ km}$$

$$t = 500 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 500 + 0 = 10000 \text{ m} = 10 \text{ km} \quad (\text{پ})$$

ت) نمودار مکان–زمان قطار مطابق شکل رو به رو می‌شود.



## مثال ۷-۲

شکل مقابل نمودار مکان–زمان شخصی را نشان می‌دهد که با سرعت ثابت در مسیری مستقیم حرکت می‌کند.

الف) سرعت حرکت این شخص چقدر است؟

نمودار سرعت–زمان را برای آن رسم کنید.

ب) شخص در مبدأ زمان ( $t = 0$ ) در چه مکانی قرار دارد؟

پ) شخص در مدت  $5 \text{ min}$  چند متر جایه جا می‌شود؟

ت) در چه لحظه‌هایی شخص در فاصله  $20 \text{ m}$  از مبدأ است؟

**پاسخ :**

(الف)

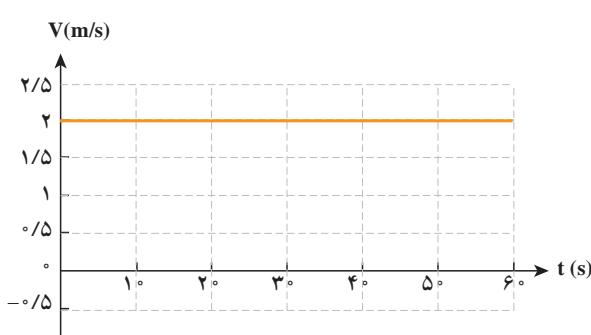
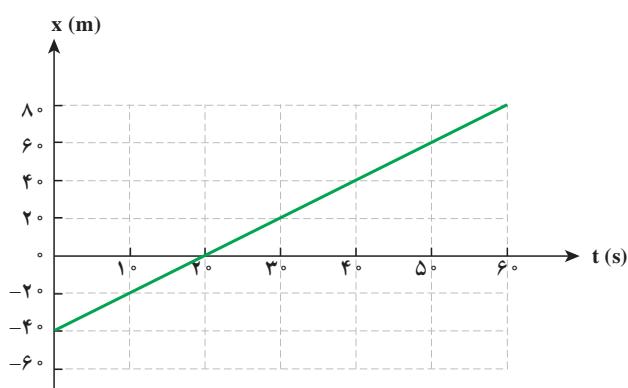
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{60}{30} = 2 \text{ m/s}$$

(ب)

$$t = 0 \Rightarrow x = -4 \text{ m} \quad (\text{پ})$$

$$\Delta x = v \cdot \Delta t = 2 \times (5 \times 60) = 600 \text{ m}$$

ت) در لحظه‌های  $t = 0 \text{ s}$  و  $t = 30 \text{ s}$  در

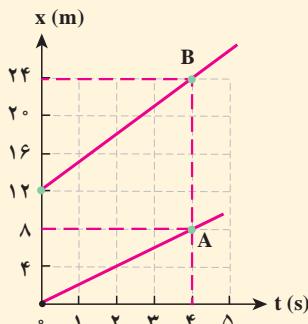


## تمرین ۴-۲

جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظه  $t_1 = 5\text{ s}$  در مکان  $x_1 = 6\text{ m}$  و در لحظه  $t_2 = 20\text{ s}$  در مکان  $x_2 = 36\text{ m}$  باشد،

- مکان متوجه در لحظه  $t = 0$  و سرعت آن را باید.
- معادله مکان-زمان را بنویسید.
- نمودار مکان-زمان رارسم کنید.

## تمرین ۴-۳



شکل مقابل نمودار مکان-زمان دو متوجه A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آنها را حساب کنید، نمودار سرعت-زمان هر کدام رارسم کنید و معادله حرکت هر یک از آنها را بنویسید.

## ۴-۲ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که خودرو از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج خودرو 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 متوجه تغییر می‌کند می‌گوییم حرکت **شتابدار یا غیریکنواخت** است. در فیزیک به نسبت تغییر سرعت به زمان تغییر آن، **شتاب متوسط** گفته می‌شود و آن را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{زمان تغییر سرعت}} = \text{شتاب متوسط} \quad (7-۲)$$

تغییر سرعت را با  $\Delta v$ ، مدت زمان تغییر سرعت را با  $\Delta t$  و شتاب متوسط را با  $\bar{a}$  نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۷-۲ را به صورت زیر بنویسیم.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (8-2)$$

در رابطه ۸-۲ یکای  $\Delta v$ ، متر بر ثانیه (m/s)، یکای  $\Delta t$ ، ثانیه (s) و یکای  $\bar{a}$ ، متر بر مجدد ثانیه ( $\text{m/s}^2$ ) است. توجه داریم که شتاب متوسط همواره با تغییر سرعت، هم جهت است. هنگامی که

## حرکت در فتره (۱-۴)

در خودرویی با سرعت  $90 \text{ km/h}$  یا در هوایپمایی با سرعت  $90 \text{ km/h}$  سفر می‌کنید، بدنبال شما هیچ حسی از این حرکت ندارد. ولی اگر خودرو یا هوایپما در مدت زمان کوتاهی تغییر سرعت دهد، این تغییر را به شدت احساس می‌کنید و حتی ممکن است از آن وحشت‌زده شوید. بخشی از هیجان ایجاد شده هنگام سوار شدن در وسائل شهریاری‌ها نیز ناشی از تغییرات سریع سرعت است. یعنی بدنبال شتاب‌ها واکنش نشان می‌دهد اما به سرعت‌ها واکنش نشان نمی‌دهد.

### مثال ۸-۲

سرعت متغیر کی 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؟

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

پاسخ:

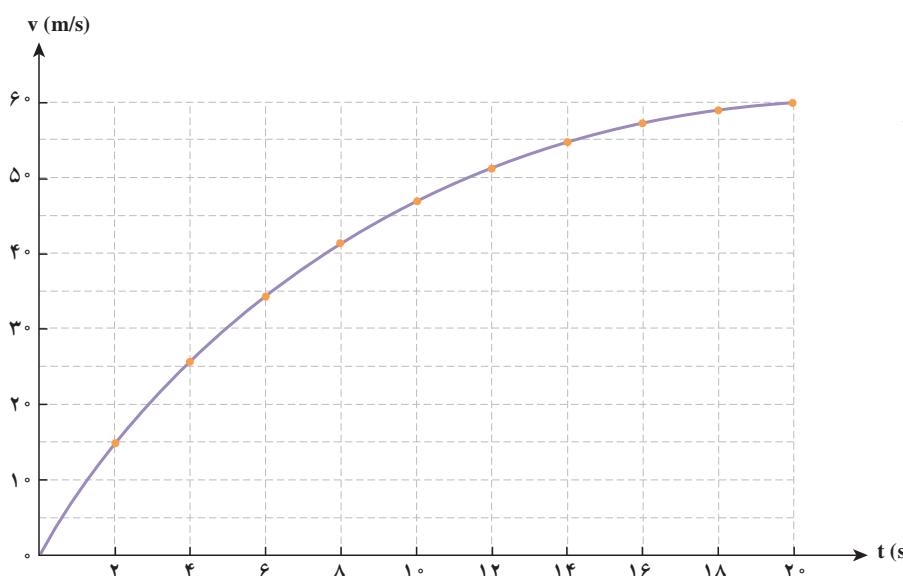
### مثال ۹-۲

وقتی ملخی می‌خواهد پرورد، خودش را با فشار به پاهاش، از زمین بلند می‌کند و به این روش شتاب رویه بالا می‌گیرد. فیلم برداری از ملخ در این حالت، نشان می‌دهد ملخ به مدت  $13 \text{ s}$  به پاهاش فشار می‌آورد و در پایان این مدت سرعتش  $3 \text{ m/s}$  می‌شود. شتاب متوسط ملخ در این مدت چقدر است؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{3 - 0}{13} = 0.231 \text{ m/s}^2$$

پاسخ:

### مثال ۱۰-۲



نمودار سرعت - زمان برای یک ماشین مسابقه که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، از لحظه شروع حرکتش تا  $20 \text{ s}$  پس از این لحظه در شکل رویه رسم شده است.



الف) شتاب متوسط خودرو را در هر یک از بازه‌های زمانی زیر حساب کنید.

$$t_1 = 2\text{ s} \text{ تا } t_2 = 4\text{ s} \quad ۱$$

$$t_2 = 4\text{ s} \text{ تا } t_3 = 8\text{ s} \quad ۲$$

$$t_3 = 8\text{ s} \text{ تا } t_4 = 12\text{ s} \quad ۳$$

ب) در کدام یک از بازه‌های زمانی، در بند الف، شتاب متوسط بیشینه و در کدام یک کمینه است؟

**پاسخ :**

$$1) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15 - 0}{2 - 0} = +7.5 \text{ m/s}^2 \text{ الف}$$

$$2) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55 - 25}{12 - 4} = +3.75 \text{ m/s}^2 \text{ الف}$$

$$3) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{60 - 55}{8 - 4} = +1.25 \text{ m/s}^2 \text{ الف}$$

ب) در بازه‌های زمانی بند الف، در بازه زمانی  $t_1 = 0\text{ s}$  تا  $t_2 = 2\text{ s}$ ، شتاب متوسط بیشینه، و در بازه زمانی  $t_2 = 4\text{ s}$  تا  $t_3 = 8\text{ s}$ ، شتاب متوسط کمینه است.

## مثال ۴

رابطه بین سرعت و زمان برای موتورسواری که در بخشی از یک بزرگراه مستقیم حرکت می‌کند،  $v = 2t + 4$  است، که  $t$  بر حسب  $\text{s}$  و  $v$  بر حسب  $\text{m/s}$  است.

الف) نمودار سرعت – زمان موتورسوار در بازه زمانی  $t_1 = 0\text{ s}$  تا  $t_2 = 12\text{ s}$  را رسم کنید.

ب) شتاب متوسط موتورسوار در بازه‌های زمانی زیر را بیابید:

$$t_1 = 4\text{ s} \text{ تا } t_2 = 8\text{ s} \quad ۱$$

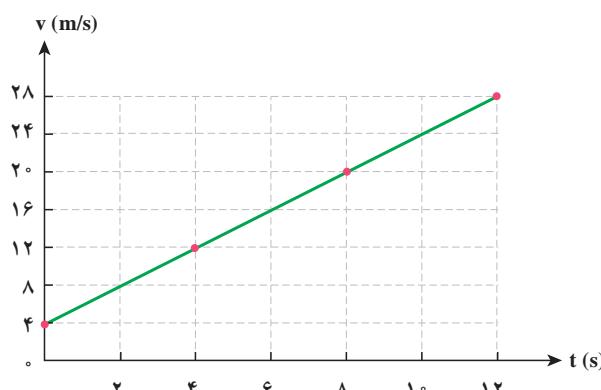
$$t_1 = 0\text{ s} \text{ تا } t_2 = 4\text{ s} \quad ۲$$

$$t_1 = 8\text{ s} \text{ تا } t_2 = 12\text{ s} \quad ۳$$

پ) شتاب متوسط‌های به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند ب را باهم مقایسه و در مورد آن بحث کنید.

**پاسخ :**

الف) سرعت موتورسوار در لحظه‌های  $t_1 = 0\text{ s}$ ،  $t_2 = 4\text{ s}$ ،  $t_3 = 8\text{ s}$ ،  $t_4 = 12\text{ s}$  را با استفاده از رابطه بین سرعت و زمان به دست می‌آوریم، سپس با استفاده از نقاط به دست آمده، نمودار سرعت – زمان را رسم می‌کنیم.



t(s)	۰	۴	۸	۱۲
v(m/s)	۴	۱۲	۲۰	۲۸

## فرگشت در فصل (۱۱)

$$1) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12 - 4}{4 - 0} = +2 \text{ m/s}^2$$

$$2) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 12}{8 - 4} = +2 \text{ m/s}^2$$

$$3) \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{28 - 20}{12 - 8} = +2 \text{ m/s}^2$$

پ) از مقایسه شتاب متوسطهای به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند ب، در می‌یابیم شتاب متوسط موتورسوار در این بازه‌ها مساوی است. در این حالت، اصطلاحاً می‌گوییم شتاب موتورسوار، ثابت است.

شتاب متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه

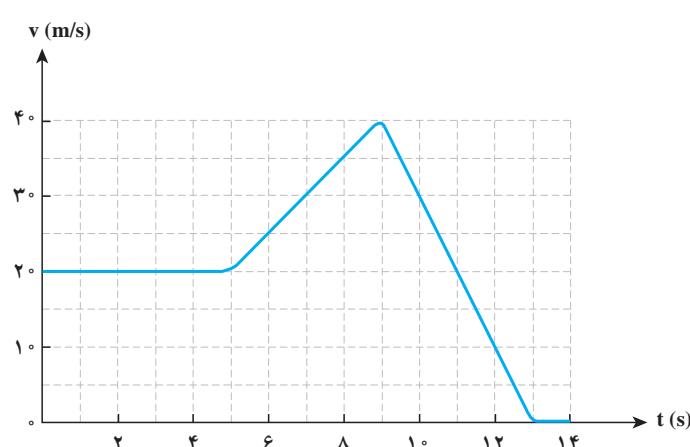
از مسیر را شتاب لحظه‌ای می‌گویند.

در حالت‌های مانند مثال ۱۱ که شتاب متوسط

در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است، اما در حالت‌های مانند مثال ۲ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت است، شتاب لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم شتاب لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم. شتاب لحظه‌ای را پس از این برای سادگی شتاب می‌نامیم که به معنی شتاب جسم در یک لحظه مشخص است. شتاب لحظه‌ای را با  $a$  نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، متر بر مجدور ثانیه ( $\text{m/s}^2$ ) است. جدول ۲-۲ برخی از شتاب‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

$3 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب توپ فوتبال هنگام یک برخورد محکم با پا
$2 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب کک (نوعی حشره) در ابتدای پرش
$1 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب تصادف خودرو (با سرعت $100 \text{ km/h}$ با دیوار)
$3/2 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) چتریاز در لحظه باز شدن چتر
$2/7 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح خورشید
$1/5 \times 10^3 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) پرتاب انفجاری صندلی هواپیما
$9/8 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح زمین
$8 \text{ m/s}^2$	شتاب ترمز خودرو
$1/7 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح ماه

## مثال ۲-۲



شکل رو به رو نمودار سرعت – زمان متحرکی را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در لحظه‌های داده شده به دست آورید. توجه داریم که اگر نمودار سرعت – زمان در یک بازه زمانی به صورت خط راست باشد، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط در آن بازه زمانی برابر است.

$$(الف) t = 2 \text{ s}$$

$$(ب) t = 7 \text{ s}$$

$$(پ) t = 10 \text{ s}$$

پاسخ :

(الف)

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 20}{5 - 0} = 0 \text{ m/s}^2$$

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{40 - 20}{9 - 5} = +5 \text{ m/s}^2$$

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 40}{13 - 9} = -10 \text{ m/s}^2$$

در لحظه‌هایی که علامت شتاب مثبت است، شتاب در جهت محور  $x$  است و در لحظه‌هایی که علامت شتاب منفی است، شتاب در خلاف جهت محور  $x$  است.

## ۵-۲ حرکت با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن حرکت را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت-زمان به صورت یک خط راست است (مانند شکل ۱۱-۲) در چنین حرکتی، شتاب در هر لحظه دلخواه با شتاب متوسط متحرک در هر بازه زمانی برابر می‌شود یعنی :

$$a = \bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (9-2)$$

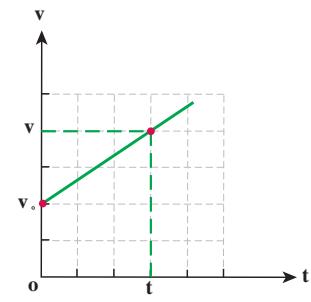
اگر در رابطه ۹-۲  $t_f = t$  و  $t_i = 0$  باشد در این صورت  $v$  سرعت در لحظه صفر با نماد  $v_0$  و  $v_f$  سرعت در لحظه  $t$  با نماد  $v$  است و می‌توان نوشت :

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$v = at + v_0 \quad (10-2)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت-زمان 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، یعنی :

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} \quad (11-2)$$



شکل ۱۱-۲- نمودار سرعت-زمان  
در حرکت با شتاب ثابت با فرض مثبت

بودن  $a$  و  $v$ .



## مثال ۱۱-۲

قطاری زیرزمینی از یک ایستگاه به راه می‌افتد، در امتداد ریل‌های مستقیم با شتاب ثابت  $1 \text{ m/s}^2$  حرکت می‌کند و به سرعت مناسب  $20 \text{ m/s}$  می‌رسد.

الف) چه مدت طول می‌کشد تا قطار به این سرعت برسد؟

ب) سرعت متوسط قطار در این مدت چقدر است؟

پ) قطار در این مدت چقدر جابه‌جا می‌شود؟

پاسخ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 1 = \frac{2^{\circ} - 0^{\circ}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 2^{\circ} s \quad (\text{الف})$$

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{0^{\circ} + 2^{\circ}}{2} = 1^{\circ} m/s \quad (\text{ب})$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 1^{\circ} = \frac{\Delta x}{2^{\circ}} \Rightarrow \Delta x = 2^{\circ} m \quad (\text{پ})$$

### مثال ۲-۱۱

خودرویی در یک جاده مستقیم و خشک با سرعت  $24 m/s$  در حرکت است. راننده با دیدن مانع ترمز می‌کند. اگر اندازه شتاب منفی خودرو هنگام ترمز  $8 m/s^2$  باشد،

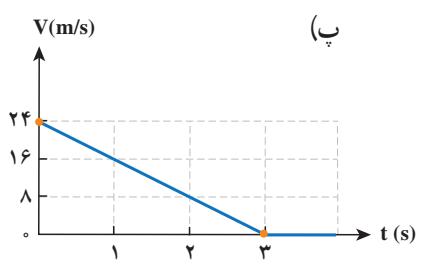
(الف) چقدر طول می‌کشد تا خودرو بایستد؟

(ب) از لحظه ترمز تا ایست کامل، خودرو چقدر پیش می‌رود؟

(پ) نمودار سرعت – زمان خودرو از لحظه ترمز تا ایست کامل را رسم کنید.

پاسخ:

(الف)



$$v = at + v_0$$

$$0 = -8t + 24 \Rightarrow t = 3s$$

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{24 + 0}{2} = 12 m/s \quad (\text{ب})$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 12 = \frac{\Delta x}{3 - 0} \Rightarrow \Delta x = 36 m$$

برای به دست آوردن رابطه ریاضی میان مکان و زمان در حرکت با شتاب ثابت، با استفاده از روابطه های ۱۱-۲ و ۱۱-۳ داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

و از آنجا می‌توان نوشت:

$$\Delta x = \frac{v_i + v_f}{2} \Delta t \quad (11-2)$$

در این رابطه  $\Delta x$  جایه جایی در بازه  $\Delta t$  و  $v_i$  و  $v_f$  به ترتیب سرعت در لحظه  $t_i$  و سرعت در لحظه  $t_f$  است. اگر متحرک در لحظه  $t_i$  در مکان  $x_i = 0$  دارد و سرعت  $v_i = v$  باشد و در لحظه  $t_f$  در مکان  $x_f$  و سرعت  $v_f = v$  باشد، داریم:

$$x - x_i = \frac{v + v_i}{2} t$$

و بنابراین

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

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (13-2)$$

این رابطه معادله مکان-زمان حرکت با شتاب ثابت است.

### مثال ۱۳-۲

یک نوع هواپیمای جت با شتاب ثابت  $2/5 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت روی مسیر مستقیم می‌کند و پس از  $40 \text{ s}$  از روی باند فرودگاه بلند می‌شود.

الف) سرعت هواپیما در لحظه بلند شدن چقدر است؟

ب) هواپیما پیش از بلند شدن چه فاصله‌ای را می‌پیماید؟

پ) نمودار مکان-زمان هواپیما رارسم کنید.

پاسخ:

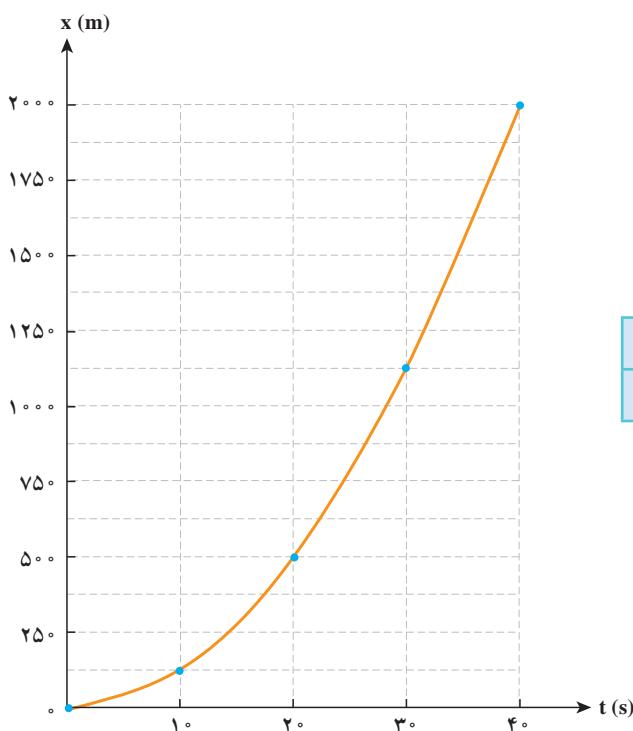
$$v = at + v_0 = 2/5 \times 40 + 0 = 16 \text{ m/s}$$

(الف)

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2/5 \times 40^2 + 0 = 200 \text{ m}$$

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

با استفاده از معادله  $x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$ ، مکان هواپیما را در چند لحظه متفاوت پیدا می‌کیم.



$t(s)$	0	10	20	30	40
$x(m)$	0	125	500	1125	2000

برای جسمی که با شتاب ثابت حرکت می‌کند رابطه ریاضی بین مکان و سرعت به صورت زیر است:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (14-2)$$

### فعالیت ۱-۷

با استفاده از رابطه‌های حرکت با شتاب ثابت، رابطه ۱۴-۲ را به دست آورید.

### مثال ۱۴-۲

در یک آزمایش تصادف، خودرویی با سرعت  $54\text{ km/h}$  با دیواری ثابت و محکم برخورد می‌کند. پس از اینکه قسمت جلوی خودرو  $4\text{ m}$  فرو می‌رود قسمت عقب می‌ایستد. اگر فرض کنیم شتاب منفی قسمت عقب خودرو در مدت زمان برخورد ثابت باشد،

(الف) این شتاب چقدر است؟

(ب) چقدر طول می‌کشد تا قسمت عقب خودرو بایستد؟

پاسخ:  
(الف)

$$v_0 = 54\text{ km/h} = \frac{54 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = 15 \text{ m/s}$$

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

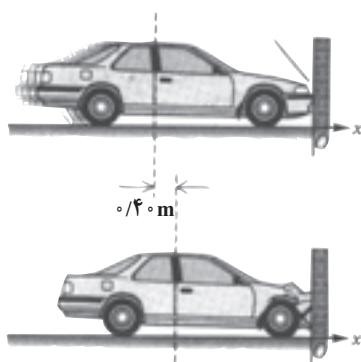
$$-15^2 = 2a \times 4 \Rightarrow a \approx -28 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

$$0 = -28t + 15 \Rightarrow t \approx 0.5 \text{ s}$$

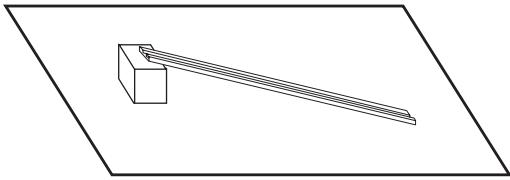
(ب)

توجه داشته باشید که در چنین تصادفی، سرنویش خودرو، به شدت آسیب می‌بیند مگر اینکه کمرنند ایمنی یا کیسه‌هوای را نگه دارد.



## آزمایش ۱-۲

**وسایل لازم:**

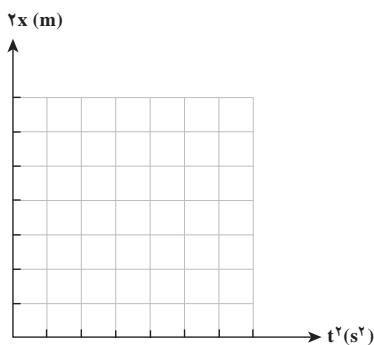


- ۱- تخته شیاردار یا میله پرده به طول ۲m یا بیشتر
- ۲- گلوه شیشه‌ای (تیله) یا فلزی
- ۳- زمانسنج (کرنومتر)
- ۴- متر نواری

**شرح آزمایش:** می‌توان نشان داد شتاب حرکت گلوه روی میله پرده شیبدار مقدار ثابتی است. می‌خواهیم این شتاب را برای طول راه‌های مختلف اندازه بگیریم. بنابراین:

- ۱- یک سرمهله را روی چند کتاب و یا هر وسیله در دسترس طوری قرار دهید که سرمهله از زمین حدود ۱۰° تا ۲۰° سانتی‌متر بالاتر باشد.
  - ۲- گلوه را در بالاترین نقطه میله قرار دهید. برای ساکن نگهداشت گلوه می‌توانید با یک خط‌کش، مداد یا ... جلوی به حرکت درآمدن آن را بگیرید.
  - ۳- فاصله ۱۰۰m از محل قرار گرفتن اولیه گلوه را علامت بزنید.
  - ۴- گلوه را رها کنید تا مسافت موردنظر را طی کند و زمان آن را اندازه بگیرید. برای کم کردن خطای آزمایش این اندازه‌گیری را چندبار تکرار و مقدارهای به دست آمده را میانگین‌گیری کنید.
  - ۵- اندازه‌گیری زمان حرکت را برای طول راه‌های بعدی مطابق جدول انجام دهید و نتایج را در جدول ثبت کنید.
- توجه:** در اجرای این آزمایش می‌توانید انتهای میله را مumas بر دیوار یا یک مانع سخت قرار دهید و آن گاه نقطه شروع حرکت را روی میله و در فاصله ۱۰۰m، ۱۲۰m و ... از انتهای میله بگیرید.
- ۶- با استفاده از رابطه  $x = \frac{1}{2}at^2$ ، شتاب را محاسبه و در جدول ثبت کنید.
  - ۷- نمودار  $x$  بر حسب  $t^2$  را رسم کنید.

$a = 2x/t^2$	زمان (s)	مسافت (m)	ردیف
		۱۰۰	۱
		۱۲۰	۲
		۱۴۰	۳
		۱۶۰	۴
		۱۸۰	۵
		۲۰۰	۶



## ابن سینا



ابوعلی حسین بن عبدالله، ملقب به ابن سینا که در غرب به آوی سینا معروف است در سال ۳۵۹ هجری شمسی در آفسنه در نزدیکی بخارا به دنیا آمد و در سال ۴۱۶ هجری شمسی در همدان درگذشت. ابن سینا که از کودکی هوشی سرشار داشت، به سرعت علوم زمان خود را فرا گرفت و در ۱۶ سالگی شروع به طبابت کرد. ابن سینا در فنون مختلف و متنوع تألیفات زیادی دارد و آثار او بالغ بر ۲۷۰ عنوان می‌شود. گرچه مهم ترین آثار او اثر فلسفی **شفا** و کتاب دایرة المعارف گونه **قانون**

در پزشکی است، اما او در علوم و فنون زمانه خود نیز دستی

بر آتش داشته است. کتاب **معیار العقول** یکی از کتاب‌های منتسب به ابن سینا است که مباحث آن به فن طراحی و ساخت جراثقال‌ها مربوط می‌شود و لذا از آثار مهندسی تمدن اسلامی محسوب می‌گردد. در این کتاب نخست به ماشین‌های ساده‌ای مانند اهرم‌های ساده و مرکب، قرقره‌های ساده و مرکب، چرخ و محور اشاره می‌شود که همگی اجزای تشکیل‌دهنده جراثقال‌ها هستند و سپس به خود جراثقال پرداخته می‌شود. البته سوای این مطالب، ابن سینا در بخش طبیعتیات کتاب‌های مهم خود مانند **شفا**، **اشارات و تنبیهات** و **دانشنامه عالی** بخش نظری فیزیک مکانیک را نیز توسعه داد و قواعد جدیدی را برای توصیف حرکات عرضه کرد. او ضمن بحث عمیق درباره مفاهیم و کمیت‌های اساسی مکانیک نظری مانند جسم، ماده، هیأت، زمان، مکان، فضا و نظایر آن، عوامل یا نیروهای محركه را به دو دسته داخلی و خارجی تفکیک کرد و ضمن تشریح منشأ هر کدام، سرانجام موفق به توصیف درست حرکت‌هایی شد که مکانیک ارسطویی از تبیین آنها عاجز بود.

## پرسش‌های فصل دوم

۱) بررسی کنید، کدام معادله‌ها می‌تواند مربوط به حرکت ذره‌ای با شتاب ثابت باشد؟

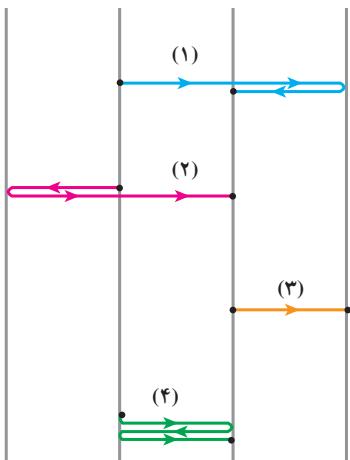
الف)  $v = 3m/s$

ب)  $v = 4t^2 + 2t - 6$

ج)  $v = \frac{1}{2}t^2 + 5t$

د)  $v = 3t - 4$

ه)  $v = -\frac{5}{3}t + 8$

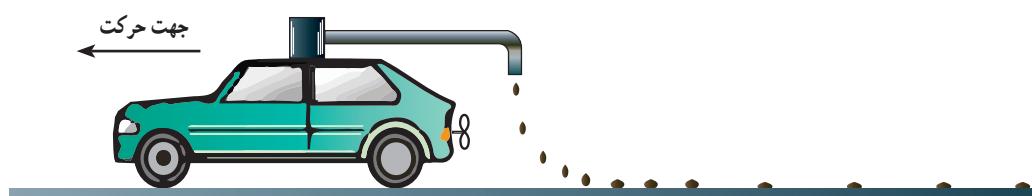


۲) شکل روبرو چهار مسیر را نشان می‌دهد که روی هریک از آنها جسمی از نقطه شروع تا پایان را در بازه زمانی یکسانی می‌پیماید. فاصله خط‌های مشخص شده یکسان است.

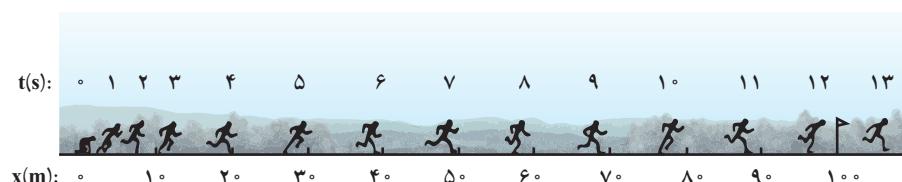
الف) اندازه سرعت متوسط متحرک در این چهار مسیر را با هم مقایسه کنید.

ب) مسیری را رسم کنید که سرعت متوسط جسم در آن در همین بازه زمانی دو برابر حالت (۲) باشد.

۳) ظرفی حاوی مایع رنگین که با آهنگ ثابتی چکه می‌کند را مطابق شکل زیر روی یک ماشین بازی کوک شده می‌گذاریم و آن را به حرکت درمی‌آوریم. الف) چگونه با استفاده از رد قطراهای مایع رنگین می‌توان درباره نوع حرکت ماشین کوکی اظهارنظر کرد؟  
ب) اگر رد قطراهای شکل زیر باشد، نوع حرکت را در هر ناحیه تعیین کنید.



۴) شکل زیر مربوط به یک مسابقه دو ۱۰۰ متر است.

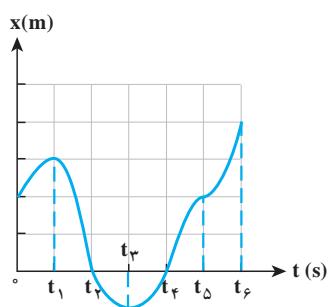


در جدول فاصله دونده تا محل شروع مسابقه در لحظه‌های مختلف داده شده است :

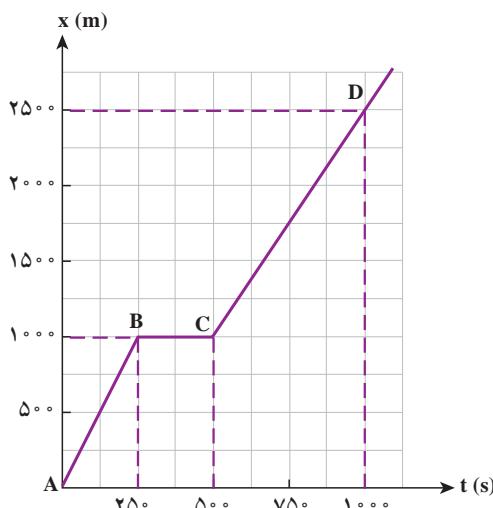
t(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12/5
x(m)	0	1	5	11	19	29	38	48	58	67	77	86	95	100

نمودار مکان – زمان دونده را رسم کنید.

## حرکت در فضای ایست



- ۵ با توجه به نمودار مکان-زمان شکل رو به رو به پرسش های زیر پاسخ دهید :
- الف) متحرک چندبار از مبدأ مکان عبور می کند؟
- ب) در کدام بازه های زمانی متحرک در حال دورشدن از مبدأ است؟
- پ) در کدام بازه های زمانی متحرک در حال تزدیک شدن به مبدأ است؟
- ت) سوی حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه هایی؟
- ث) جایه جایی کل در جهت محور x هاست یا خلاف آن؟



## مسائل فصل دوم

- ۱ شکل رو به رو نمودار مکان-زمان حرکت یک دونده دوی نیمه استقامت بر روی یک خط راست را نشان می دهد.
- الف) بین کدام دو نقطه، دونده سریع تر در حال دویدن بوده است؟
- ب) بین کدام دو نقطه، دونده ایستاده است؟
- پ) سرعت دونده را بین دو نقطه A و B از نمودار حساب کنید.
- ت) سرعت دونده را بین دو نقطه C و D حساب کنید.
- ث) سرعت متوسط دونده را در بازه زمانی  $t_1 = 100 \text{ s}$  تا  $t_2 = 1000 \text{ s}$  حساب کنید.

۲ دانستن محل قرارگیری یک ما هواره در مأموریت های فضایی و اطمینان از اینکه ما هواره در مدار پیش بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین منظور تپ های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می کنند را به طرف ما هواره موردنظر ارسال می کنند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ  $\frac{2}{3} \text{ ثانیه}$  باشد، فاصله ما هواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

- ۳ معادله حرکت جسمی که روی خط راست در حرکت است در SI به صورت  $x = 4t - 3t^2$  است.
- الف) چه مدت پس از لحظه صفر متحرک به مبدأ می رسد؟
- ب) متحرک در لحظه  $t = 1 \text{ s}$  در چه مکانی قرار دارد؟
- پ) جایه جایی متحرک بین دو لحظه  $t = 1 \text{ s}$  و  $t = 5 \text{ s}$  چقدر است؟

- ۴ رانده ای فاصله مستقیم بین دو شهر را به ترتیب زیر می پیماید.
- ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط  $15 \text{ m/s}$  رانندگی کرده و پس از آن به مدت  $10 \text{ دقیقه}$  توقف می کند. آنگاه با سرعت متوسط  $20 \text{ m/s}$  به مدت  $30 \text{ دقیقه}$  به رانندگی ادامه می دهد 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؟

۵ سرعت یک خودرو در مدت ۲۰ ثانیه، روی یک مسیر مستقیم از  $1^{\circ} \text{m/s}$  به  $18 \text{m/s}$  می‌رسد.

الف) شتاب متوسط خودرو در این مدت چقدر است؟

ب) اگر سرعت با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن از  $1^{\circ} \text{m/s}$  به  $108 \text{ km/h}$  برسد؟

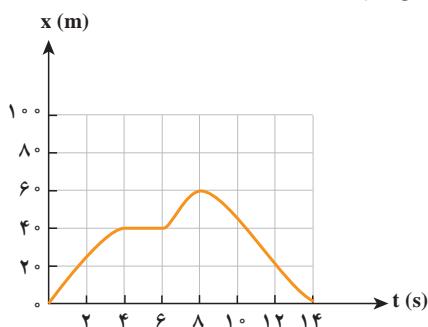
۶ سرعت فضاییمایی  $3^{\circ}$  ثانیه پس از شروع حرکت به  $120 \text{ km/h}$  می‌رسد. شتاب متوسط آن در این مدت چقدر است؟

۷ راننده خودرویی که با سرعت  $72 \text{ km/h}$  در حرکت است، مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به طوری که پس از ۸ ثانیه می‌ایستد.

الف) شتاب متوسط حرکت از لحظه شروع کند شدن حرکت تا توقف خودرو چقدر است؟

ب) اگر در مدت کندشدن حرکت خودرو، شتاب آن ثابت فرض شود، خودرو چه مسافتی را تا لحظه توقف پیموده است؟

۸ شکل رو به رو نمودار مکان – زمان متحرکی است که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است.



الف) در چه لحظه‌ای دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

ب) در چه بازه زمانی دوچرخه سوار در جهت محور  $x$  حرکت می‌کند؟

پ) در چه بازه‌های زمانی دوچرخه‌سوار در خلاف جهت محور  $x$  حرکت می‌کند؟

ت) در چه بازه زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

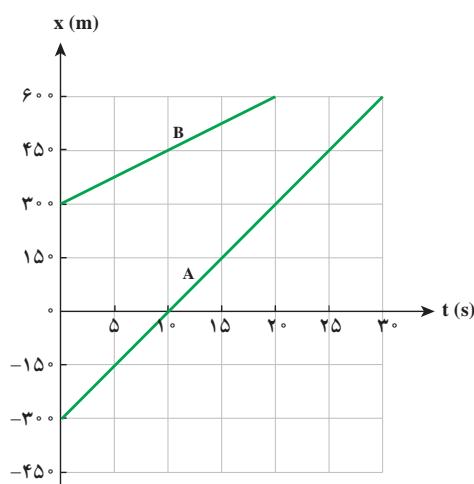
ث) جایه‌جایی دوچرخه‌سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟

۹ شکل رو به رو نمودار مکان – زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کنند.

الف) معادله حرکت هریک از آنها را بنویسید.

ب) اگر حرکت خودروها با همین سرعت ادامه پیدا کند، در چه لحظه‌ای دو خودرو به هم می‌رسند؟

پ) در لحظه‌ای که دو خودرو به هم می‌رسند، در چه مکانی هستند؟

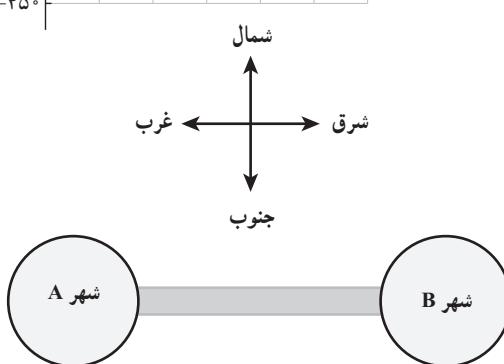


۱۰ موتورسواری در یک بزرگراه مستقیم مانند شکل از شهر A به طرف شهر B در حال حرکت است. اگر سرعت موتورسوار در  $t_1 = 15 \text{ s}$ ،  $t_2 = 18 \text{ s}$  و در  $18 \text{ km/h}$  باشد،  $t_3 = 9 \text{ s}$  در  $17 \text{ km/h}$  باشد،

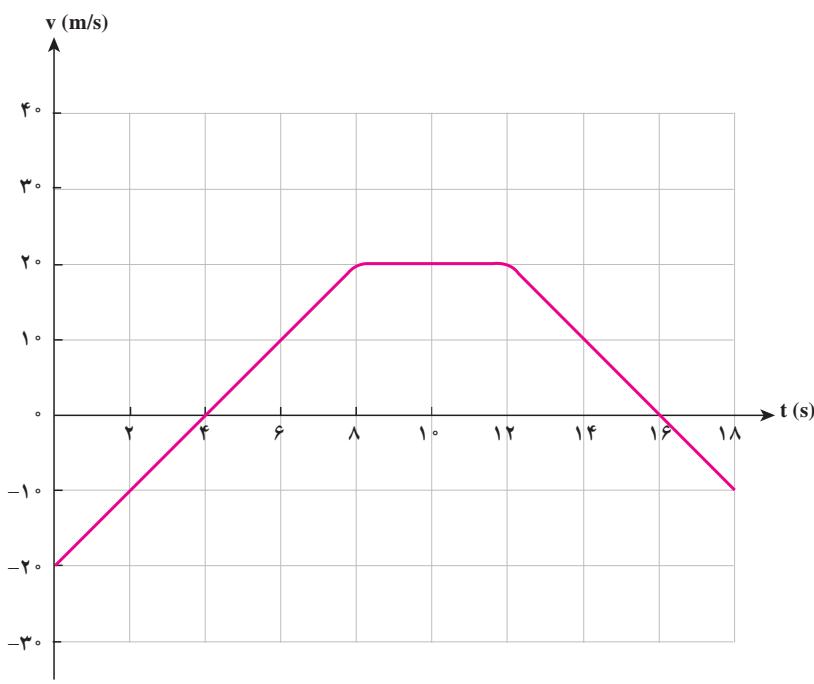
الف) شتاب متوسط موتورسوار در این مدت چقدر و در چه جهتی است؟

ب) اگر در  $t_4 = 18 \text{ s}$ ، سرعت موتورسوار به  $72 \text{ km/h}$  برسد، شتاب متوسط

موتورسوار بین لحظه‌های  $t_2$  و  $t_3$  چقدر و در چه جهتی است؟



### فرگشت در فصل (۱۱)



- ۱۱) شکل رو به رو نمودار سرعت – زمان متحركی است که روی یک مسیر مستقیم و در راستای محور  $x$  در حرکت است.
- (الف) در چه بازه زمانی موتورسوار در جهت مثبت محور  $x$  حرکت می کند؟
- (ب) در چه بازه های زمانی، موتورسوار در خلاف جهت محور  $x$  حرکت می کند؟
- (پ) در چه بازه زمانی، موتورسوار با سرعت ثابت حرکت کرده است؟
- (ت) در چه لحظه هایی جهت حرکت موتورسوار تغییر کرده است؟
- (ث) سرعت موتورسوار در لحظه های  $t = 0$  و  $t = 2s$  و  $t = 4s$  و  $t = 14s$  و  $t = 16s$  و  $t = 18s$  را تعیین کنید.

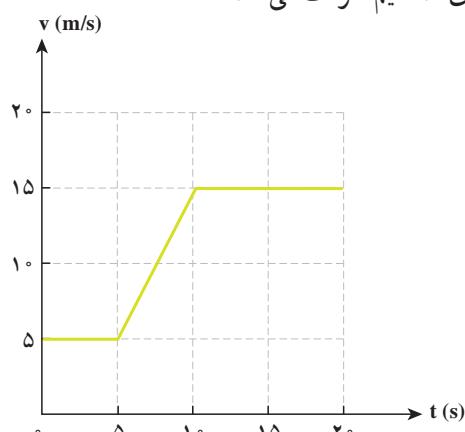
ج) شتاب حرکت در  $t = 4s$  و  $t = 10s$  و  $t = 16s$  را به دست آورید.

- ۱۲) شکل رو به رو نمودار سرعت – زمان خودرویی را نشان می دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می کند.
- (الف) شتاب در لحظه های  $t = 3s$ ,  $t = 8s$ ,  $t = 11s$ ,  $t = 15s$  را به دست آورید.

(ب) شتاب متوسط در بازه زمانی  $t_1 = 0$  تا  $t_2 = 20s$  را به دست آورید.

(پ) خودرو در هر یک از بازه های زمانی  $t_1 = 5s$  تا  $t_2 = 11s$  و  $t_1 = 11s$  تا  $t_2 = 20s$  چقدر جابه جا شده است؟

(ت) سرعت متوسط خودرو در بازه های  $t_1 = 5s$  تا  $t_2 = 11s$  و  $t_1 = 15s$  تا  $t_2 = 20s$  را به دست آورید.



- ۱۳) خودرویی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می کند و پس از ۲۰ ثانیه سرعتش به  $36km/h$  می رسد. سپس با همین سرعت به مدت ۱۰ دقیقه

به حرکتش ادامه می دهد. پس از آن ترمز می کند و بعد از ۵ ثانیه متوقف می شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

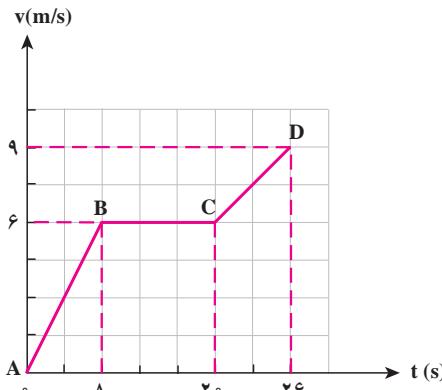
(الف) شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

(ب) نمودار سرعت – زمان را از لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف خودرو رسم کنید.

۱۴ متحرکی روی محور  $x$  و با شتاب ثابت در حرکت است. سرعت متحرک در مکان  $x = +10\text{ m}$ ،  $v = +4\text{ m/s}$  و در مکان  $x = +19\text{ m}$  با سرعت  $+18\text{ km/h}$  است.

الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) رسیدن از سرعت  $+4\text{ m/s}$  به سرعت  $+18\text{ km/h}$  چه مدتی طول می کشد؟



۱۵ شکل روبرو نمودار سرعت - زمان متحرکی را در ۲۶ ثانیه نشان می دهد.

الف) شتاب در هریک از مرحله های AB، BC و CD چقدر است؟

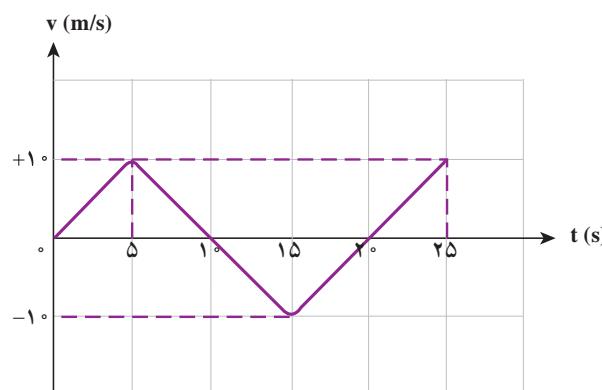
ب) شتاب متوسط در بازه زمانی صفر تا ۲۶ ثانیه چقدر است؟

۱۶ سریک دارکوب در حین نخستین تماس منقار آن با تنۀ درخت، با سرعت  $7/50\text{ m/s}$  روبه جلو حرکت می کند. منقار دارکوب پس از سوراخ کردن تنۀ درخت و فرو رفتن در آن به اندازه  $1/87\text{ mm}$ ، متوقف می شود. با فرض آنکه در این حرکت شتاب ثابت باشد، بزرگی شتاب را بدست آورید.

۱۷ سریک مارزنگی در حین ضربه زدن به یک طعمه می تواند  $5\text{ m/s}$  شتاب بگیرد. اگر یک خودرو می توانست چنین شتابی داشته باشد، چقدر طول می کشید تا از حال سکون به سرعت  $100\text{ km/h}$  برسد؟

۱۸ یک دونده در  $75\text{ m}$  ثانیه اول مسابقه، شتاب  $8\text{ m/s}^2$  می گیرد. الف) سرعت دونده را در پایان  $75\text{ s}$  اول محاسبه کنید.  
ب) اگر فرض کنید دونده تا آخر مسابقه با سرعت  $6\text{ m/s}$  به دویدن ادامه دهد و پس از عبور از خط پایان حرکتش را با شتاب ثابت کند. اگر اندازه شتاب منفی دونده پس از عبور از خط پایان،  $2\text{ m/s}^2$  باشد، پس از عبور از خط پایان چقدر طول می کشد تا دونده متوقف شود؟ و در این مدت چه مسافتی را طی می کند؟

۱۹ نمودار سرعت - زمان یک متحرک مطابق شکل زیر است. نمودار شتاب - زمان متحرک رارسم کنید.



۳

## دینامیک

به نظر شما برای کشیدن  
تور ماهی‌گیری به چه مقدار  
نیرو نیاز است؟



ماهی‌گیران در سواحل خلیج فارس

در فصل دوم با کمیت‌های مانند مکان، جا به جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود یا ممکن است حرکت جسم شتاب‌دار باشد و در نتیجه سرعت تغییر کند. اما از طرح و پاسخ پرسش‌هایی مانند 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 به طور کلی چه عاملی باعث تغییر در وضعیت جسم می‌شود؟ و ... خودداری کردیم.

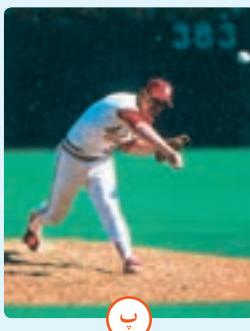
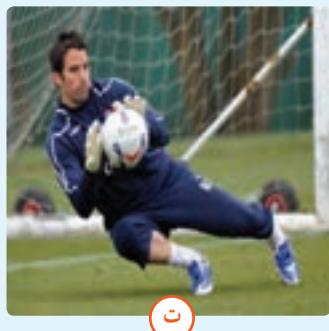
در این فصل می‌خواهیم این پرسش‌ها را طرح کنیم و پاسخ آنها را بیابیم. برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها، باید در ابتدا با کمیتی به نام نیرو بیشتر آشنا شویم.

### ۱-۳ 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 هُل دهیم یا بکشیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم». برای شناخت بیشتر نیرو، بهتر است در مورد «اثر نیرو بر یک جسم» بحث کنیم.

#### فعالیت ۳-۱

در هر یک از شکل‌های زیر، اثری را که نیرو بر جسم گذاشته است، شرح دهید.



در بسیاری از موارد برای آنکه دو جسم به هم نیرو وارد کنند باید باهم تماس داشته باشند. مثلاً برای برداشتن یک کتاب از قفسه کتاب‌ها باید دست شما به آن برسد تا با وارد کردن نیرو به کتاب، بتوانید آن را بردارید. برای اعمال نیروی دست بر کتاب وجود دست و کتاب لازم است. همچنین در بازی فوتبال وقتی توپ به طرف شما پرتاب می‌شود، اگر توپ به پای شما یا به جسم دیگری برخورد نکند مسیر توپ تغییر نمی‌کند. برای آنکه 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. اما گاهی برای تأثیر نیرو تماس لازم نیست. مثلاً به فعالیت زیر توجه کنید:

### فعالیت ۳-۲



به شکل رو به رو نگاه کنید. این تصویر سببی را در حال افتادن نشان می‌دهد. پاسخ پرسش‌های زیر را در کلاس به بحث بگذارید:

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

نیروهای گرانشی، مغناطیسی و الکتریکی می‌توانند از راه دور و بدون تماس اجسام باهم اثر کنند. مثلاً خورشید از فاصله بسیار دور بر سیاره‌های منظومه خورشیدی نیرو وارد می‌کند یا یک آهن ریا، از راه دور به یک قطعه آهن نیرو وارد می‌کند و آن را به سوی خود می‌کشد. با توجه به آنچه تاکنون در مورد نیرو بیان شد، می‌توان گفت:

- ۱- نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود سبب تغییر اندازه سرعت جسم یا تغییر جهت آن می‌شود. مثلاً ممکن است جسم ساکن با اعمال نیرو شروع به حرکت کند یا جسم متحرک در اثر اعمال نیرو متوقف شود.
- ۲- نیرو بر هم کنش (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 کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است.** تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد که اگر بخواهیم جسمی مثلاً یک توپ فوتbal را با سرعت زیاد پرتاب کیم، باید به آن نیروی بزرگی وارد کنیم. مثلاً هنگام زدن پنالتی در بازی فوتbal برای آنکه 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 آنکه توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانه دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند.

بزرگی (اندازه) نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. شکل ۱-۳ نمونه‌هایی از چند نوع نیروسنج را نشان می‌دهد. یکای اندازه‌گیری نیرو، **نیوتون** (با نماد N) نام دارد که با تعریف آن، در همین فصل آشنا می‌شوید.



شکل ۱-۳- نمونه‌هایی از چند نیروسنج

## ۲- قانون‌های نیوتون درباره حرکت

در بخش‌های قبل دیدیم که نیرو عامل تغییر سرعت در اجسام است.

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 به شرح زیر هستند.

**قانون اول نیوتون :** پیشینیان گالیله معتقد بودند که جسم متحرك برای ادامه حرکتش به نیرو نیاز دارد. گالیله با آزمایش‌هایش نشان داد حرکت جسم می‌تواند بدون نیاز به نیرو تداوم داشته باشد. نیوتون با بهبود بخشیدن این نظر قانون اول را به صورت زیر بیان کرد:

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

به بیان دیگر اگر به جسمی نیرو وارد نشود چنانچه جسم ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌باید که به آن نیرو وارد نشود؟ به همه جسم‌ها نیروی وزن وارد می‌شود. در نتیجه نمی‌توان جسمی را یافت که به آن نیرو وارد نشود تا بتوان قانون اول نیوتون را 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 یا سیاره‌های دیگر نیز تزدیک نباشد، جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. این مسئله را بشر در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تقریباً آزموده است. وقتی سفینه به اندازه کافی از زمین دور می‌شود با موتور خاموش و با سرعت تقریباً ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. اگر به جسمی نیرو وارد نشود جسم وضعیت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند. به این ویژگی اجسم **لختی** گفته می‌شود. به همین مناسبت به قانون اول نیوتون **قانون لختی** نیز می‌گویند.

وقتی در ماشین ساکنی نشسته اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می کند، به صندلی فشرده می شوید و اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید در توقف ناگهانی به جلو پرتاب می شوید. علت این پدیده را توضیح دهید.

**قانون دوم نیوتون :** در بخش قبل دیدیم که «اگر بر جسم نیرویی وارد نشود، جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود بر روی خط راست را حفظ می کند.» اما آزمایش ها نشان می دهند اگر بر جسم نیرو وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می گیرد. رابطه میان نیروهای وارد بر جسم و شتاب حرکت جسم موضوع قانون دوم نیوتون است. قانون دوم نیوتون به صورت زیر بیان شده است: «اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می گیرد که با برابر نیروهایی وارد بر جسم نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»

اگر جرم جسم  $m$  و برابر نیروهایی وارد به آن  $\vec{F}_{برابر}$  باشد، قانون دوم نیوتون با رابطه زیر بیان می شود:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{برابر}}{m}$$

و یا

$$\vec{F}_{برابر} = m \vec{a} \quad (1-3)$$

یکای نیرو در SI نیوتون (N) است که از رابطه  $1\text{-}3$  تعریف می شود. اگر در این رابطه جرم بر حسب کیلوگرم (kg) و شتاب بر حسب متربرمجدور ثانیه ( $\text{m/s}^2$ ) قرار داده شود، نیرو بر حسب  $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$  خواهد شد که آن را نیوتون (N) می نامیم. بنابراین **یک نیوتون نیروی است که اگر بر جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود به آن شتابی برابر یک متر بر مجدور ثانیه می دهد.**

### مثال ۳-۱

جسمی به جرم  $g = 5\text{ kg}$  تحت تأثیر نیروی  $F = 2\text{ N}$  در جهت محور  $x$  قرار دارد. شتاب جسم چقدر و در چه جهتی است؟

**پاسخ :** بزرگی شتاب برابر است با

$$a = \frac{\vec{F}_{برابر}}{m} = \frac{2}{5} = 4 \text{ m/s}^2$$

با توجه به قانون دوم نیوتون، شتاب جسم هم جهت با نیروی  $\vec{F}$  و در نتیجه در جهت محور  $x$  است.

### مثال ۳-۲

به دو توپ به جرم های  $g_1 = 10\text{ kg}$  و  $g_2 = 3\text{ kg}$  نیروی  $15\text{ N}$  وارد می کنیم. بزرگی شتاب هر توپ را حساب کنید.

**پاسخ :**

$$a = \frac{\vec{F}_{برابر}}{m}$$

$$a_1 = \frac{\vec{F}_{برابر}}{m_1} = \frac{15}{10} = 15 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = \frac{\vec{F}_{برابر}}{m_2} = \frac{15}{3} = 5 \text{ m/s}^2$$

در این مثال دیدیم که هرچه جرم جسم بیشتر باشد مقاومتش در برابر شتاب گرفتن (تغییر سرعت) بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت: جرم هر جسم معیاری برای مقاومت جسم در مقابل تغییر سرعت است که به آن **لختی** نیز گفته می‌شود.

**قانون سوم نیوتون:** وقتی با دست دیوار را هُل می‌دهیم، حس می‌کنیم که دیوار نیز ما را هُل می‌دهد. به این ترتیب در برهم کنش دست ما و دیوار دو نیرو وجود دارد. اگر نیروی دست خود به دیوار را نیروی **کشن** بنامیم، نیروی دیوار به دست **مان نیروی واکنش** نامیده می‌شود. همین طور درست است که نیروی دیوار به دستمان را نیروی کشن و نیروی دست ما به دیوار را نیروی واکنش بنامیم. نکته مهم این است که در مکانیک کلاسیک نیروهای کشن و واکنش همیشه همراه هم ظاهر می‌شوند و هیچ یک بدون دیگری نمی‌تواند وجود داشته باشد.

قانون سوم نیوتون رابطه کمی میان نیروهای کشن و واکنش را به صورت زیر بیان می‌کند:  
**«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند جسم دوم نیز به جسم اول نیروی همان اندازه ولی در خلاف جهت آن وارد می‌کند.»**

برای مثال در شکل ۳-۲ نیروهای  $\vec{F}_{12}$  (نیروی که جسم اول به جسم دوم وارد می‌کند) و  $\vec{F}_{21}$  (نیروی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند) نیروهای کشن و واکنش (عمل و عکس العمل) هستند.

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



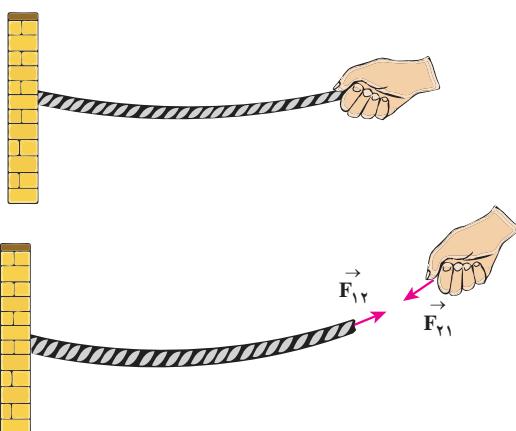
شکل ۳-۲—دو آهنربای میله‌ای که روی دو گاری سوار شده‌اند بر هم نیرو وارد می‌کنند

در مورد نیروهای کشن و واکنش توجه کنید که :

- این دو نیرو همواره همان اندازه، هم راستا و در سویهای مخالف یکدیگرند.
- این دو نیرو به دو جسم وارد می‌شوند.

- این دو نیرو هم نوع‌اند. به عنوان مثال هر دو گرانشی‌اند یا هر دو الکتریکی‌اند یا ...

### مثال سی



مطابق شکل، یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر دیگر آن را با دست می‌کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کشن و واکنش بین «دست و طناب» را مشخص کنید.

**پاسخ:** در شکل نیروهای بین دست و طناب نشان داده شده است. در این شکل، دست را جسم ۱ و طناب را جسم ۲ نامیده‌ایم.  
 $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow \text{کشن و واکنش} \quad F_{12} = F_{21}$

در هر یک از شکل‌های زیر نیروهای کش و واکنش را مشخص کنید.



برخورد دست با کیسه بoks



برخورد دو خودرو



برخورد چکش با میخ



خارج شدن گیاه از دانه (جوانه زدن)

### ۳-۳ معرفی چند نیروی خاص

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. در این بخش به معرفی چند نیروی خاص می‌پردازیم که در بحث حرکت از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

**نیروی گرانشی:** آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چرا آب در جویبارها به طرف پایین حرکت می‌کند؟ چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟ چرا آب دریاها دهانه جذر و مد می‌شود؟ ماه تحت تأثیر چه نیرویی در مدار خود به دور زمین می‌چرخد؟ در سال ۱۶۶۵ میلادی نیوتون، دانشمند انگلیسی، نشان داد نیرویی که ماه را در مدارش به دور زمین نگه می‌دارد، از جنس همان نیرویی است که موجب افتادن یک سیب می‌شود. به این نیرو

نیروی گرانشی گفته می‌شود. نیروی گرانشی بین دو جسم با استفاده از قانون گرانش عمومی به دست می‌آید. بنا به قانون گرانش نیوتون:

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

اگر جرم دو ذره  $m_1$  و  $m_2$  و فاصله میان آنها مطابق شکل ۳-۲ برابر  $r$  باشد، اندازه نیروی

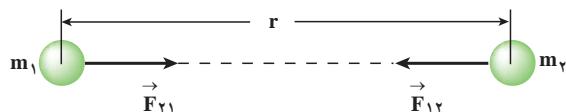
گرانشی میان دو ذره ( $F$ ) از رابطه ۲-۳ به دست می‌آید:

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

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

در این رابطه  $G$  ثابت گرانش عمومی نام دارد. در SI که یکای جرم کیلوگرم (kg)، یکای نیرو نیوتون (N) و یکای فاصله متر (m) است،  $G$  برابر است با:

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$



شکل ۳-۳-دو ذره به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  بر هم نیروی گرانشی وارد می‌کنند.

### مثال سیم

دو جسم به جرم‌های  $5.0 \text{ kg}$  و  $6.0 \text{ kg}$  در فاصله یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آنها را محاسبه کنید.

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

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5.0 \times 6.0}{1^2} = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$$

پاسخ:

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

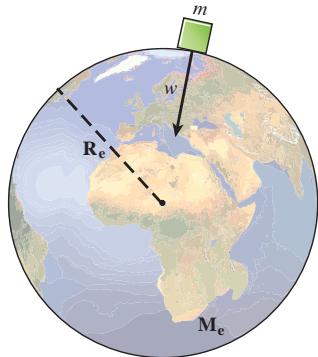
### تمرین سیم

جسم زمین تقریباً  $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$  و شعاع زمین تقریباً  $6.37 \times 10^6 \text{ m}$  است. نیروی گرانشی زمین که به شما وارد می‌شود حدود چند نیوتون است؟ برای محاسبه نیروی گرانشی زمین جرم آن در مرکز زمین فرض می‌شود.

**وزن:** وزن یک جسم بر روی سطح زمین برابر با نیروی گرانشی است که زمین بر جسم وارد می‌کند. معمولاً وزن را با  $W$  نشان می‌دهند. اگر جرم جسم را با  $m$ , جرم زمین را با  $M_e$  و شعاع آن را با

$$W = F_{\text{گرانشی}} = G \frac{M_e \cdot m}{R_e^2} \quad \text{نشان دهیم داریم: } R_e$$

$$W = G \frac{M_e \cdot m}{R_e^2} \quad (4-2)$$



شکل ۴-۳ - به هر جسمی به جرم  $m$  نیروی وزن  $W$  از سوی زمین که جرم آن  $M_e$  و شعاع آن  $R_e$  است، وارد می‌شود.

می‌دانیم نیرو سبب شتاب گرفتن جسم می‌شود. اگر جسمی به جرم  $m$  را در نزدیکی سطح زمین رها کنیم، تحت تأثیر نیروی وزن به سمت زمین شتاب می‌گیرد و سقوط می‌کند (شکل ۴-۳). بنابراین براساس قانون دوم نیوتون می‌توان نوشت:

$$F = ma \Rightarrow G \frac{M_e \cdot m}{R_e^2} = ma \Rightarrow a = G \frac{M_e}{R_e^2}$$

معمولًاً شتاب سقوط اجسام را با  $g$  نشان می‌دهند که به آن **شتاب گرانی** می‌گویند.

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} \quad (4-3)$$

آن گاه رابطه ۴-۲ را می‌توانیم با استفاده از رابطه ۴-۳ به صورت زیر بنویسیم :

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

### مثال ۴-۳

با استفاده از مقدارهای داده شده در تمرین ۲-۳ مقدار  $g$  را به دست آورید :

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5.98 \times 10^{24}}{(6.37 \times 10^6)^2} = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad \text{پاسخ:}$$

با اصراف نظر کردن از نیروی مقاومت هوای همه اجسام در نزدیکی سطح زمین با شتاب ثابت  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  سقوط می‌کنند.

### فعالیت ۴-۴

- تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی،  $G$ , نخستین بار توسط چه کسی اندازه‌گیری شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.
- شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «راتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

۱- اول حرف Weight

۲- رابطه ۴-۳ با فرض چشم بوسی از چرخش زمین برقرار است.

**نیروی عمودی سطح :** جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۳-۵ روی سطح افقی میزی باشد، نیروی

به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می شود؟ اگر جرم جسم برابر  $m$  باشد، نیروی وزن  $W = mg$  را زمین به جسم وارد می کند و آن را به سوی پایین می کشد. چرا جسم رو به پایین به حرکت در نمی آید؟

همان طور که مشاهده می شود، جسم ساکن و شتاب حرکت آن صفر است ( $a = 0$ ). از قانون

دوم نیوتون نتیجه می شود که برایند 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 خشی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل ۳-۵ این نیرو از سطح میز به جسم وارد می شود. در شکل ۳-۶ نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده اند. نیروی  $\vec{N}$  که از طرف میز بر جسم وارد می شود و بر سطح میز عمود است را «**نیروی عمودی سطح**» می نامیم. برای این شکل با استفاده از قانون دوم نیوتون نتیجه می شود:

$$F_{\text{برایند}} = ma = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است. برای مثال وقتی جسمی نه چندان سبک را روی سطح اسفنج قرار دهیم تغییر شکل اسفنج به خوبی دیده می شود. در این حالت اسفنج به جسم نیرو وارد می کند. اما وقتی جسم را روی سطحی سخت مانند میز بگذاریم تغییر شکل سطح میز جزئی است و با چشم قابل تشخیص نیست. اگر نیروی بین مولکول های سطح میز را با نیروی فنرهایی که مولکول ها را بهم وصل می کند مدل سازی کنیم، با قرار گرفتن جسم روی سطح میز مثل آن است که فنرها فشرده یا کشیده می شوند (شکل ۷-۳) و نیروی برایندی رو به بالا به جسم وارد می کند که همان نیروی عمودی سطح است.

اگر نیروی فرض کنید مطابق شکل ۳-۸ نیرویی به اندازه  $F$  را به طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنیم. آیا نیروی عمودی سطح، که میز بر جسم وارد می کند، تغییر می کند؟ با روش مشابه قبل می توان به پرسش بالا پاسخ داد.

نیروهای وارد بر جسم را در شکل ۹ نشان داده ایم. چون شتاب جسم صفر است بنابراین قانون دوم نیوتون داریم:

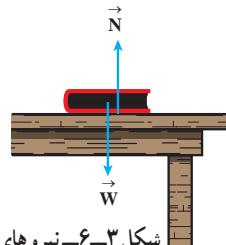
$$F_{\text{برایند}} = ma = 0$$

$$N - F - W = 0$$

$$N = F + W$$

بنابراین نیروی عمودی تکیه گاه، افزایش یافته است.

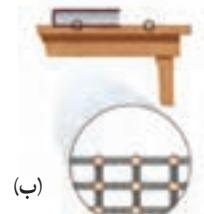
شکل ۳-۵- کتابی روی میز به حالت سکون قرار دارد.



شکل ۳-۶- نیروهای  $N$  و  $W$  بر کتاب وارد می شوند.

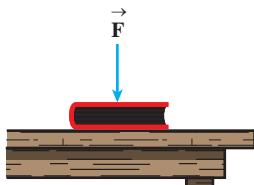


(الف)

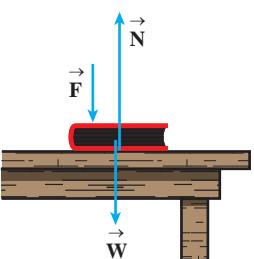


(ب)

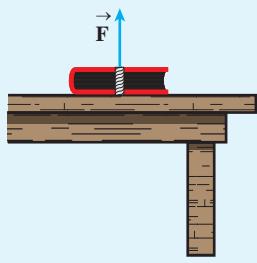
شکل ۳-۷- نیروی بین مولکول های سطح میز با فنرهایی شبیه سازی شده است. با قرار گرفتن کتاب، فنرها فشرده شده اند.



شکل ۳-۸- بر کتاب، نیروی خارجی  $F$  را نیز وارد کرده ایم.



شکل ۳-۹- نیروهای وارد بر کتاب در حضور نیروی  $F$



فرض کنید مطابق شکل، طنایی را به دور یک جسم بسته ایم و آن را با نیرویی به بزرگی  $F$  به سوی بالا می کشیم. اگر جسم همچنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی سطح وارد بر آن را برحسب  $F$  و  $W$  بنویسید.

همان‌گونه که دیدیم، برای به دست آوردن اندازه نیروی عمودی سطح همواره از قانون دوم نیوتون استفاده می‌شود.



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

الف) ساکن روی ترازو ایستاده اید.

ب) ضمن آنکه روی ترازو ایستاده اید با دست میزی را که در کنار تان قرار دارد، به سمت پایین فشار دهید.

پ) با دست میز را به بالا بکشید.

به نظر شما ترازوی فنری اندازه چه کمیتی را نشان می‌دهد؟

شخصی به جرم  $50\text{ kg}$  درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی ای 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 روبه بالا  $1\text{ m/s}^2$  به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

$g$  را برابر  $10\text{ m/s}^2$  بگیرید.

پاسخ :

الف) آسانسور ساکن و شتاب حرکت صفر است. با توجه به نیروهای وارد بر شخص که در شکل صفحه بعد نشان داده شده است :

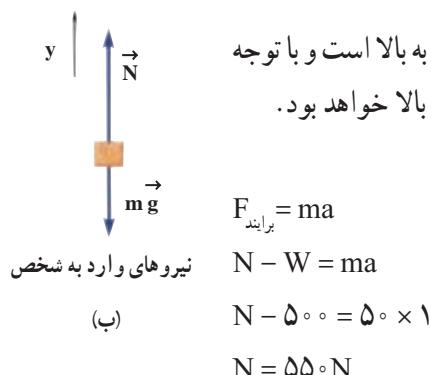
$$a = 0$$

$$F_{\text{برابر}} = N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

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

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 رو به بالا است و با توجه به قانون دوم نیوتون برایند نیروها نیز رو به بالا خواهد بود.

در مثال ۶-۳ فرض کنید آسانسوری که به طرف بالا در حرکت است با رسیدن به طبقه موردنظر با شتاب رو به پایین  $2\text{ m/s}^2$  از سرعت خود می‌کاهد. در این حالت نیروی عمودی‌ای که کف آسانسور به شخص وارد می‌کند چند نیوتون است؟

### تمرین ۳-۲

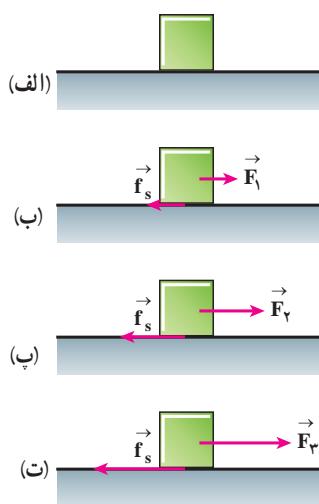
**نیروی اصطکاک:** در تجربه‌های روزانه دیده‌اید که برای به حرکت در آوردن صندوق سنگینی

که روی سطح افقی ساکن است باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند. بنابراین باید نیرویی در خلاف جهت نیرویی که به صندوق وارد کرده‌اید، به آن وارد شده باشد. این نیرو را **نیروی اصطکاک ایستایی** می‌نامیم.

جسمی را درنظر بگیرید که آن را با کشیدن یا هُل دادن روی سطح افقی به حرکت درآورده‌اید. اگر دست از کشیدن یا هُل دادن جسم بردارید سرعت آن کاهش می‌یابد و پس از مدتی می‌ایستد.

با توجه به اینکه نیرو عامل تعییر سرعت است، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت به جسم وارد شده باشد. این نیرو را **نیروی اصطکاک جنبشی** می‌نامیم. نیروی اصطکاک را در دو حالت بررسی می‌کنیم.

**الف) اصطکاک ایستایی:** فرض کنید جسمی مطابق شکل ۳-۱۰-الف روی یک سطح افقی ساکن است. به جسم نیروی افقی  $\vec{F}$  را وارد می‌کنیم. در ابتدا اندازه این نیرو را کوچک و برابر  $F_1$  می‌گیریم به طوری که جسم ساکن بماند (شکل ۳-۱۰-ب)، چون جسم ساکن است بنا به قانون دوم نیوتون باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند  $\vec{f}_s$  به جسم وارد شده باشد تا با خشی کردن اثر نیروی  $\vec{F}_1$ ، مانع شتاب گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی  $\vec{f}_s$  از



شکل ۳-۱ - با افزایش نیروی پیشان  $F$ ، افزایش می‌یابد تا اینکه به یک مقدار بیشینه معین برسد.

طرف سطح به جسم وارد می‌شود. به این نیرو، «[نیروی اصطکاک ایستایی](#)» می‌گوییم.

$$F_{\text{براند}} = ma = 0$$

$$F_1 - f_s = 0$$

$$f_s = F_1$$

اگر فرض کنید اندازه نیروی  $F_1$  را افزایش داده و به اندازه  $F_2$  رسانده ایم (شکل ۳-۱-ب).

اگر جسم همچنان ساکن بماند، با استدلالی شبیه قبل نتیجه می‌گیریم که نیروی اصطکاک ایستایی افزایش یافته و برابر اندازه  $F_2$  شده است. بنابراین با افزایش نیروی  $F$  نیروی اصطکاک ایستایی نیز

افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی  $F$  به حالتی می‌رسیم که اگر اندازه آن برابر  $F_3$  شود، جسم در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازه نیروی  $F$  از مقدار  $F_3$  اندکی بیشتر شود دیگر

جسم ساکن نمی‌ماند و شروع به حرکت می‌کند (شکل ۳-۱-ت). به نیروی اصطکاک در این حالت «[نیروی اصطکاک در آستانه حرکت](#)» می‌گوییم. بزرگی این نیرو برابر با بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی است و آن را با  $f_{s,\text{max}}$  نشان می‌دهیم. آزمایش نشان می‌دهد که بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی با اندازه نیروی عمودی سطح ( $N$ ) متناسب است. بنابراین از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در این حالت،  $f_{s,\text{max}} = F_3$  است.

$$f_{s,\text{max}} = \mu_s N \quad (6-3)$$

در این رابطه  $\mu_s$  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.

از رابطه ۶-۳ نتیجه می‌شود که  $\mu_s$  کمیتی بدون یکا است. توجه کنید که رابطه ۳-۶ فقط در حالتی به کار می‌رود که جسم در آستانه حرکت باشد. بنابراین :

$$f_s \leq \mu_s N \quad (7-3)$$

### تمرین ۳-۴

اگر در شکل ۳-۱، بزرگی نیروهای  $F_1=2N$ ,  $F_2=4N$ ,  $F_3=6N$  و جرم جسم  $1/5 \text{ kg}$  باشد، (الف) بزرگی نیروهای اصطکاک ایستایی  $f_s$  را در هر حالت به دست آورید. (ب) ضریب اصطکاک ایستایی  $\mu_s$  را پیدا کنید. ( $g=10 \text{ m/s}^2$  در نظر بگیرید)

### آزمایش ۳-۱

**وسایل لازم :** نیروسنج، دو قطعه چوبی هم جرم به شکل مکعب مستطیل، ترازو

**شرح آزمایش :**



- ۱- مکعب چوبی را از طرف وجه بزرگ آن، روی سطح افقی میز قرار دهید.
- ۲- نیروسنج را مانند تصویر به مکعب چوبی وصل کنید و سر دیگر نیروسنج را با دست بگیرید و به طور افقی بکشید.

۳- نیروی دستان را به آرامی افزایش دهید تا جایی که احساس کنید مکعب چوبی در آستانه لغزیدن قرار گرفته است. در این حالت عددی که نیروسنج نشان می دهد، برابر با نیروی اصطکاک در آستانه حرکت است. این عدد را در جدول یادداشت کنید.

۴- اکنون مکعب چوبی را از طرف وجه کوچکتر روی سطح قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

۵- مکعب دوم را روی مکعب اول قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

۶- با اندازه گیری جرم هر قطعه و استفاده از رابطه  $f_s = \mu_s N$  در هر آزمایش را محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

$\mu_s$	عددی که نیروسنج نشان می دهد ( $f_{s,max}$ )	مساحت سطح تماس قطعه با میز	وزن قطعه	شماره آزمایش
				۱
				۲
				۳

۷- همراه با اعضای گروه خود، نتیجه های به دست آمده را تفسیر کنید.

**ب) نیروی اصطکاک جنبشی :** دیدیم بر جسمی که روی سطحی می لغزد (مانند اسکی باز شکل ۱۱-۳) نیرویی از طرف سطح وارد می شود که موازی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. این نیرو را که نیروی اصطکاک جنبشی نامیدیم با  $f_k$  نشان می دهیم.

آزمایش نشان می دهد که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی سطح 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  $f_k$  نشان می دهند و به آن **ضریب اصطکاک جنبشی** می گویند.



شکل ۱۱-۳- اسکی باز بر سطح برف می لغزد.

$$f_k = \mu_k N$$

(۸-۳)

## جدول ۳-۱- ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی

$\mu_s$	$\mu_k$	ماده
۰/۷	۰/۶	فولاد بر فولاد
۰/۹	۰/۹	فولاد بر سرب
۰/۵	۰/۴	فولاد بر مس
۱/۱	۰/۳	مس بر چدن
۰/۷	۰/۵	مس بر شیشه
-	۰/۲	چوب اسکی موم انود شده بر برف در ${}^{\circ}\text{C} -10$
-	۰/۰۵	چوب اسکی موم انود شده بر برف در ${}^{\circ}\text{C} 0$
$\approx 1$	$\approx 1$	لاستیک بر بتون

تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک جنبشی مانند ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و ... بستگی دارد. ضریب اصطکاک جنبشی هم مانند ضریب اصطکاک ایستایی کمیتی بدون یکا است. معمولاً ضریب اصطکاک جنبشی میان آن دو سطح است. یعنی  $\mu_s < \mu_k$ . جدول ۳-۱ برخی از ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی را نشان می‌دهد.

## فعالیت ۳-۷

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید:

- الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید و با استفاده از آن  $\mu_k$  را به دست آورید.
- ب) نشان دهید نیروی اصطکاک جنبشی به‌طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد.

## مثال ۳-۷



شکل مقابل شخصی را در حال هُل دادن یک کمد ۷۵ کیلوگرمی نشان می‌دهد. نیرویی که شخص به کمد وارد می‌کند افقی و کمد در حال حرکت است. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و کمد  ${}^{\circ} 0/4$  باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد به کمد چقدر است؟

**پاسخ:** نیروهای وارد بر کمد در شکل نشان داده شده است. چون جسم در امتداد قائم شتاب ندارد از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

$$N - W = 0 \Rightarrow N = W = mg$$

$$\Rightarrow N = 75 \times 10^3 \text{ N}$$

با استفاده از رابطه ۳-۸ داریم:

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow f_k = 0/4 \times 75 \times 10^3 \text{ N} = 300 \text{ N}$$

## مثال ۳-۸

در مثال ۳-۷ اگر شخص کمد را با نیروی  $F = ۳۳^{\circ} N$  هل دهد شتاب حرکت کمد چقدر خواهد شد؟

**پاسخ:** از قانون دوم نیوتون برای محاسبه شتاب استفاده می‌کنیم.

برایند نیروهای افقی وارد بر جسم برابر است با

$$F_{\text{برایند}} = ۳۳^{\circ} - ۳^{\circ} = ۳^{\circ} N$$

$$F_{\text{برایند}} = ma \Rightarrow ۳^{\circ} = ۷۵a$$

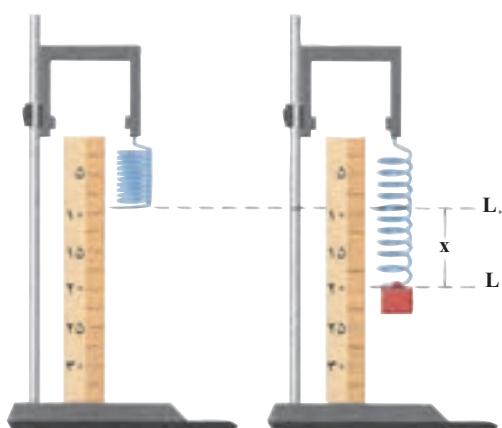
و در نتیجه

$$a = \frac{۳^{\circ}}{۷۵} = ۰/۴ m/s^2$$

**نیروی کشسانی فنر:** با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می‌دانید که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنید و سر دیگر آن را بکشید، طول فنر افزایش می‌یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را افزایش دهید افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

## آزمایش ۳-۷

**وسایل لازم:** فنر، وزنهایی با جرم‌های متفاوت، خط‌کش  
**شرح آزمایش:**



- فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.
- وزنهای مختلف را به انتهای فنر بیاویزید و بعد از آنکه دستگاه وزنه – فنر به حال سکون درآمد، طول فنر را اندازه بگیرید.
- در این حالت نیروی وارد بر فنر هم اندازه با وزن جسم آویزان است.
- جدول زیر را تکمیل و نتیجه آزمایش را در گروه خود تفسیر کنید و به کلاس ارائه دهید.

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

آزمایش‌های متعدد مانند آزمایش ۳-۲ نشان می‌دهد که تغییر طول فنر تقریباً با اندازه نیروی وارد بر آن متناسب است. اگر اندازه نیروی وارد بر فنر را با نماد  $F_e$  و اندازه تغییر طول فنر را با  $x$  نشان دهیم، بین آنها رابطه زیر برقرار است:

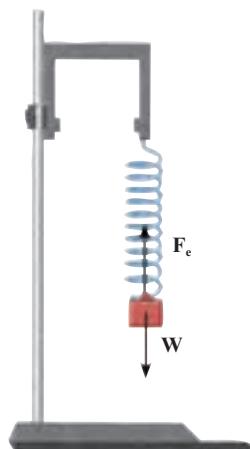
$$F_e = kx \quad (9-3)$$

ضریب  $k$  در رابطه ۹-۳، ثابت فنر نام دارد. ثابت فنر از مشخصات فنر است. در رابطه ۹-۳  $N$  بر حسب نیوتون (N)،  $m$  بر حسب متر (m) و  $k$  بر حسب نیوتون بر متر (N/m) است.

### فعالیت ۳-۸

دو فنر متفاوت تهیه کنید و مانند آزمایش ۳-۲ ثابت فنرهای را به دست آورید. آیا فنری که ثابت آن بیشتر است، سخت‌تر نیز هست؟

### مثال ۳-۷



ثابت یک فنر  $5 \text{ N/m}$  و طول آن  $10 \text{ cm}$  است. فنر را از یک نقطه می‌آویزیم و به انتهای آن وزنه  $20 \text{ g}$  گرمی وصل می‌کنیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

پاسخ:

$$F_e = ma$$

$$F_e - W = 0$$

$$kx = mg$$

$$5 \text{ N} \cdot x = 0.020 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$x = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

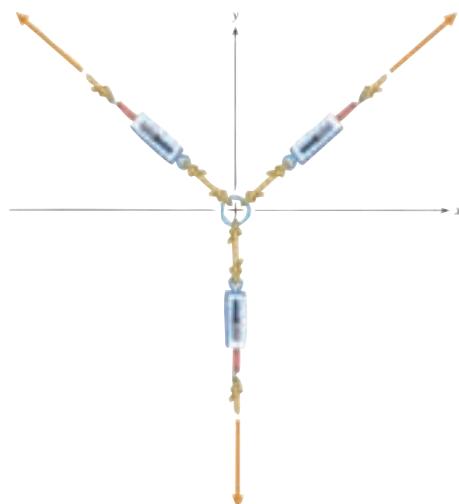
$$x = L - L_0 \Rightarrow 4 = L - 10 \Rightarrow L = 14 \text{ cm}$$

گفتیم نیرو کمیتی برداری است. با اجرای آزمایش ۳-۳ می‌توانید بررسی کنید که آیا نیرو از جمع برداری پیروی می‌کند یا نه؟

## آزمایش سیم

**وسایل لازم:** سه عدد نیروسنگ، یک حلقه، چند برگ کاغذ سفید

**شرح آزمایش:**



- ۱- حلقه را روی صفحه کاغذ قرار دهید و نیروسنگ‌ها را مطابق شکل به حلقه وصل کنید.
- ۲- سه نفر از اعضای گروه، هر کدام یکی از نیروسنگ‌ها را به گونه‌ای بکشند که حلقه ساکن باشد. در این حالت اندازه نیروها را بخوانید و جهت نیروها را روی کاغذ مشخص کنید.
- ۳- با مقیاس مناسب برای اندازه نیروها و در نظر گرفتن جهت آنها، نیروها را روی صفحه کاغذ رسم کنید.
- ۴- با به کار بردن روش متوازی‌الاصلای در جمع بردارها، برایند دو تا از نیروها را رسم کنید و نشان دهید که بردار برایند هم اندازه با بردار سوم و در خلاف جهت آن است.

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

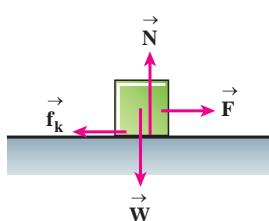
در این کتاب از آنچه در مورد قانون‌های نیوتون و معرفی نیروها یاد گرفتیم برای حل مسئله‌های استفاده می‌کنیم که در آنها نیروهای وارد بر جسم در یک راستا و یا بر یکدیگر عمود باشند. برای این منظور، به طور معمول مرحله‌های زیر را طی می‌کنیم.

- ۱- با مشخص کردن جسم مورد نظر شکل ساده‌ای از آن را رسم می‌کنیم.
- ۲- نیروهای وارد بر جسم از طرف اجسام دیگر را مشخص و رسم می‌کنیم. (در این کتاب، این نیروها فقط در راستاهای افقی و قائم هستند).
- ۳- در صورت لزوم نیروهایی مانند وزن، اصطکاک، کشسانی فنر و ... را محاسبه می‌کنیم.
- ۴- قانون دوم نیوتون ( $\vec{F}_{برایند} = m\vec{a}$ ) را بنا به نیاز در راستای قائم و سپس افقی به کار می‌بریم.

### مثال سیم



در شکل رو به رو، کارگری سورتمهٔ حاوی بار را با نیروی افقی  $N_{۲۷۰}$  می‌کشد. اگر جرم سورتمه و بار آن  $۱۰۰\text{ kg}$  و ضریب اصطکاک جنبشی بین سورتمه و سطح  $۰/۲۵$  باشد، شتاب حرکت سورتمه را حساب کنید. ( $g = ۱۰\text{ N/kg}$ )



**پاسخ:** در شکل روبرو، نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است.  
شتاب جسم در راستای قائم صفر و جسم در این راستا حرکت نمی کند.

بنابراین :

$$N - W = 0 \Rightarrow N = W = mg \Rightarrow N = 1000 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N = 0.25 \times 1000 \Rightarrow f_k = 250 \text{ N}$$

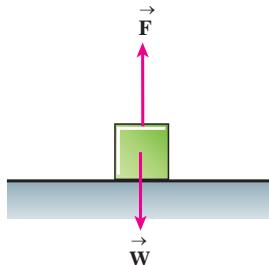
قانون دوم نیوتون را برای نیروهای وارد بر جسم در راستای افقی به کار می بریم :

$$F_{\text{برابر}} = ma \Rightarrow F - f_k = ma \Rightarrow 270 - 250 = 100 a \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

### مثال ۱۲

جسمی به جرم  $2 \text{ kg}$  روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم می بندیم و طناب را با نیروی  $250 \text{ N}$  به طور قائم بالا می کشیم. شتاب حرکت جسم چقدر می شود؟

**پاسخ:** 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.



$$F_{\text{برابر}} = ma$$

$$F - W = ma$$

$$250 - 20 = 2a$$

$$a = 25 \text{ m/s}^2$$

### مثال ۱۳

جسمی به جرم  $4 \text{ kg}$  روی سطح افقی با نیروی افقی  $10 \text{ N}/8$  کشیده می شود. سرعت جسم در مدت  $5 \text{ s}$  با شتاب ثابت از  $4 \text{ m/s}$  به  $1 \text{ m/s}$  رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. ( $g = 10 \text{ N/kg}$ )

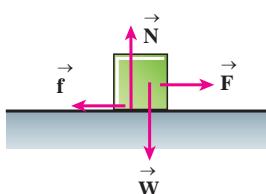
**پاسخ:** چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می کند، از رابطه  $2 = 7$  استفاده و شتاب حرکت را محاسبه می کیم.

$$v = at + v_0$$

$$1 = a \times 5 + 4$$

$$5a = 6 \Rightarrow a = 1.2 \text{ m/s}^2$$

نیروهای وارد بر جسم در شکل نشان داده شده است.



$$N = W = 4 \text{ N}$$

$$F_{\text{برابر}} = ma$$

$$F - f_k = ma$$

$$10/8 - f_k = 4 \times 1/2 \Rightarrow f_k = 6 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{f_k}{N} \Rightarrow \mu_k = \frac{6}{4} = 1.5$$

آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت :

## بنوموسی

بنوموسی، سه برادر به نام‌های محمد، احمد و حسن فرزندان موسی بن شاکر خوارزمی از برجسته‌ترین دانشمندان و مهندسان ایرانی قرن سوم هجری بودند. این سه برادر در فعالیت‌های علمی با یکدیگر همکاری داشتند و عمدۀ شهرت آنها به سبب فعالیت‌های علمی آنان است. بنوموسی در تلاش برای دستیابی به علوم، اشخاصی را با هزینهٔ شخصی به سرزمین روم می‌فرستادند و مترجمان را با دادن عطا‌ای و بخشش‌های گزاف به مرکز خلافت جلب می‌کردند. محمد خود به آسیای صغیر سفر می‌کرد تا نسخه‌های کتب را خریداری کند. در حقیقت بنوموسی به طور مستقل، و نه به دستور خلفاء، به جمع‌آوری کتب علمی و فلسفی و ترجمهٔ آنها مشغول بودند. با توجه به دانش و مهارت بنوموسی در علوم مختلف بسیاری از امور ساخت و مهندسی به ایشان سپرده می‌شد که از آن میان می‌توان به حفر برخی از نهرهای بزرگ چون نهر جعفریه و نهر عمودین منجم در نزدیکی بصره اشاره کرد. آثار متعددی توسط برادران بنوموسی نوشته شده است که کتاب **الحیل** از مهم‌ترین آنهاست که خوشبختانه هنوز هم باقی مانده است. علم **الحیل** را می‌توان همان مهندسی مکانیک امروزی خواند. این کتاب در ۶ فصل از ابزارها و دستگاه‌های مکانیکی و هیدرولیکی همچون چگالی‌سنج، فوارهٔ توربینی، دستگاه خون‌گیری، دستگاه‌های بالابر آب و... سخن می‌گوید.

تاریخ‌نویسان داخلی و خارجی در ستایش این کتاب بسیار سخن گفته‌اند.

در سال ۱۳۴۰ ه.ش **هاوزر** در کتاب جدایانه‌ای به شرح و بررسی کتاب **الحیل** پرداخت. این کتاب در سال ۱۳۸۵ ه.ش به انگلیسی ترجمه شد و در مقدمهٔ کتاب اسامی به کار رفته در دستگاه‌های بنوموسی همراه با شکل‌های توصیفی نیز آمده است. از دیگر کتاب‌های بنوموسی که هنوز موجودند می‌توان به کتاب‌های **معرفة مساحة الاشكال البسيطة** و **الكريه** در هندسه، **رؤيه الملال و الدرجات في طبائع البروج** در نجوم اشاره کرد.

۱ کمرنده نجات در خودرو چگونه در جاده‌ها، سرنوشت‌خواه خودرو را از وارد شدن صدمه‌های احتمالی حفظ می‌کند؟

۲ در فیلمی علمی-تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای خلا خارج از جو زمین و دور از هر سیاره‌ای در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه کشتی فضایی کُند شده و می‌ایستد. آیا این تصویری صحیح از واقعیت است؟ قانون اول نیوتون درباره این رویداد چه می‌گوید؟

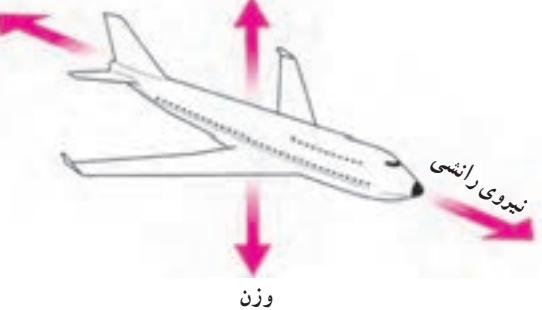
۳ در هر یک از موردهای زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟  
 الف) سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید  
 ب) توپی که به دیوار برخورد می‌کند.

پ) قایقی ساکن بر آب یک دریاچه

۴ در شکل روبرو چهار نیرویی که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد می‌شود، نشان داده شده است.  
 نیروی مقاومت هوایی  
 نیروی بالابر  
 وزن  
 نیروی رانشی

برگی این نیروها را در موقعیت‌های زیر بیان کنید.  
 الف) هواپیما در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.  
 ب) هواپیما شتاب رو به جلو و رو به بالا دارد.

پ) هواپیما شتاب رو به عقب و رو به پایین دارد.



۵ در هر یک از موردهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کنید و

نیروهای وارد بر آن را نشان دهید:

الف) جسمی که در هوا در حال سقوط است.

ب) جسمی که بر روی سطح افقی دارای اصطکاک در حال حرکت است.

پ) چراغی که از یک سقف آویزان است.

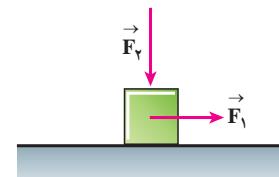
۶ آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگ‌تر از  $g$  رو به پایین حرکت کند؟ توضیح دهید.

۷ فرض کنید فضانوردی روی یک سیاره فرود آید که در آن  $19/6 \text{ m/s}^2 = g$  است. آیا قدم زدن روی این سیاره در مقایسه با زمین ساده‌تر است یا سخت‌تر؟

۸ نیروی قائم  $\vec{F}_\perp$  بر قطعه‌ای به جرم  $m$  که روی زمین قرار دارد، وارد می‌شود. اگر بزرگی نیروی  $\vec{F}$  از صفر افزایش یابد، در هر یک از موارد زیر نیروی عمودی سطح ( $\vec{N}$ ) چگونه تغییر می‌کند؟

الف)  $\vec{F}_\perp$  رو به پایین باشد.

ب)  $\vec{F}_\perp$  رو به بالا باشد.



۹ در شکل روبرو، نیروی  $\vec{F}_1$  به بزرگی  $N^\circ$  بر جعبه‌ای واقع بر کف زمین وارد می‌شود. ولی جعبه نمی‌لغزد. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم  $\vec{F}_2$  که جعبه را به سطح زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، الف) کمیت‌های زیر افزایش می‌یابند یا کاهش یا بدون تغییر می‌مانند؟

(I) بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی  $f_0$  وارد بر جعبه

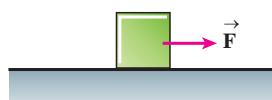
(II) بزرگی نیروی عمودی سطح  $N$  وارد بر جعبه

(III) مقدار بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

ب) آیا جعبه سرانجام خواهد لغزید؟

## مسائل فصل سوم

- ۱** دونده‌ای به جرم  $60\text{ kg}$  با شتاب  $5\text{ m/s}^2$  شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.  
 الف) اندازه نیرویی که این شتاب را به دونده می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونده وارد می‌شود؟  
 ب) واکنش نیرویی را که در قسمت (الف) محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟
- ۲** دو جسم به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند، تحت تأثیر نیروهایی 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.
- ۳** خودرویی به جرم  $2\text{ t}$  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. برایند نیروهای وارد بر خودرو را در این حرکت محاسبه کنید.
- ۴** خودرویی به جرم  $90\text{ kg}$  در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از  $8\text{ s}$  به سرعت  $12\text{ m/s}$  می‌رسد.  
 الف) برایند نیروهای وارد بر خودرو در این مدت چقدر است؟  
 ب) نیروی رو به جلو که به خودرو وارد می‌شود را در صورتی که نیروهای مقاوم در مقابل حرکت خودرو  $N = 45\text{ N}$  باشد، محاسبه کنید.
- ۵** خودرویی به جرم  $120\text{ kg}$  با سرعت  $72\text{ km/h}$  روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و خودرو پس از پیمودن مسافت  $100\text{ m}$  می‌ایستد.  
 الف) شتاب حرکت خودرو پس از ترمز چقدر است؟  
 ب) نیروی اصطکاک وارد بر خودرو را محاسبه کنید.
- ۶** در چه ارتفاعی از سطح زمین نیروی گرانشی  $10\%$  کاهش می‌یابد؟ شاعع زمین را  $6370\text{ km}$  فرض کنید.
- ۷** الف) نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.  
 ب) نیروی گرانشی ماه بر زمین چقدر است?  
 (جرم زمین  $10^{24}\text{ kg}$ ، جرم ماه  $10^{22}\text{ kg}$ ، فاصله ماه از زمین  $10^5\text{ km}$  و  $G = 6.7 \times 10^{-11}\text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  درنظر بگیرید.)
- ۸** در سه آزمایش، سه نیروی افقی متفاوت بر قطعه‌ای که بر سطح تخنی قرار گرفته است، وارد می‌شود. بزرگی این نیروها عبارتند از  $N = 4\text{ N}$ ،  $F_1 = 8\text{ N}$ ،  $F_2 = 12\text{ N}$ . در هر آزمایش، قطعه به رغم نیروی وارد برآن ساکن باقی می‌ماند.  
 الف) نیروی اصطکاک ایستایی وارد از سطح بر قطعه در هر حالت چقدر است؟  
 ب) در مورد مقدار بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی چه می‌توان گفت؟
- ۹** جسمی را با سرعت افقی  $10\text{ m/s}$  روی سطح افقی پرتاب می‌کیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر  $2/5$  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 و ضریب اصطکاکش با سطح همان ضریب اصطکاک قبلی است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟



۱۰ جسمی به جرم  $5\text{ kg}$  روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی  $F$  را وارد می کنیم.

الف) به ازای  $F = 15\text{ N}$  جسم ساکن می ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چقدر است؟

ب) به ازای  $N = 20\text{ N}$  جسم در آستانه حرکت قرار می گیرد و با ضربه افقی بسیار کوچکی شروع به حرکت می کند و پس از  $8\text{ s}$  مسافت  $32\text{ m}$  را می پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۱ می خواهیم به جسمی که جرم آن  $5\text{ kg}$  است، شتاب  $2\text{ m/s}^2$  بدheim. نیرویی را که باید به آن وارد کنیم در هر یک از حالت های زیر محاسبه کنید :

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک  $1/2$  به طرف راست حرکت می کند، و شتابش نیز به طرف راست است.

پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.

ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۲ وزنه ای به جرم  $2\text{ kg}$  را به انتهای فنری به طول  $12\text{ cm}$  که ثابت آن  $20\text{ N/cm}$  است می بندیم و فنر را از سقف بک آسانسور آویزان می کنیم. طول فنر را در حالت های 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 و رو به پایین  $2\text{ m/s}^2$  از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

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

۱۳ برای یک راننده دانستن مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان طور که شکل نشان می دهد کل مسافت توقف، دو قسمت دارد.

الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را نام ببرید.

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

پ) زمان واکنش راننده ای  $0.6\text{ s}$  است. در طی این زمان، خودرو  $24\text{ m}$  طی می کند. سرعت خودرو را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می کند و خودرو پس از  $1\text{ s}$  متوقف می شود. شتاب کاهنده خودرو را حساب کنید.

ث) وقتی خودرو ترمز کند، برایند نیروهای وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو  $1\text{ t}$  فرض کنید.





# کار و انرژی



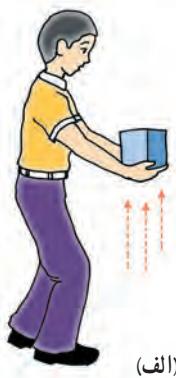
بیش از ۲۵۰۰ سال پیش، ایرانیان با ذوق و سفتگویی تمدنی را برپا کردند که بخشی از آثار به جای مانده آن را در این تصویر می‌بینید. این مکان به دروازه همه کشورها معروف است.

تخت جمشید - شمال شیراز

هنگامی که فعالیت‌های یک روز خود را در نظر می‌گیرید، مشاهده می‌کنید که اعمال متفاوتی انجام می‌دهید راه می‌روید، از پله بالا می‌روید، می‌نویسید و کیف خود را حمل می‌کنید. برای انجام این فعالیت‌ها به انرژی نیاز دارید که توسط مواد غذایی تأمین می‌شود. افراد دیگر نیز به همین ترتیب فعالیت‌های گوناگون دارند. بسیاری از این فعالیت‌ها، توسط وسیله‌هایی چون اتومبیل، جرثقیل و ... انجام می‌شوند. این وسیله‌ها از انرژی الکتریکی، شیمیایی و یا ... استفاده می‌کنند. در کتاب 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 در فیزیک، انرژی مکانیکی و توان آشنا می‌شوید و تعریف دقیق تری از نوع‌های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می‌شود.

## ۱-۴ کار

همه روزه با افرادی مواجه هستیم که در حال انجام فعالیت‌های متفاوتی هستند. نجّار را می‌بینیم که در حال اره و یارنده کردن است. در فعالیت‌های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محل دیگر حمل می‌کنند و ... البته بعضی از فعالیت‌ها نیز توسط ماشین‌های مخصوص انجام می‌شوند. در شکل ۱-۴ دو نمونه از این فعالیت‌ها نشان داده شده‌اند. آیا شما نیز می‌توانید تعدادی از این فعالیت‌ها را نام ببرید؟



(الف)



(ب)

شکل ۱-۴- شخص با وارد کردن نیرو به جسم و جابه‌جا کردن آن، کار انجام می‌دهد.

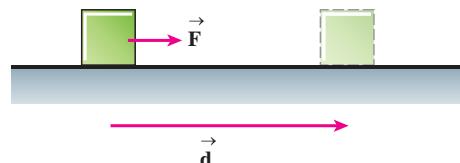
در بسیاری از فعالیت‌هایی که انجام می‌شوند:

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

به عنوان مثال، در شکل ۱-۴-الف پسر به جعبه نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل ۱-۴- ب مادری به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. کار در فیزیک را برای مثال‌هایی که در آنها بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود، به صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌کنیم. 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.

$$W_F = Fd \quad (1-4)$$

شکل ۱-۴- بر جسم نیروی  $\vec{F}$  وارد می‌شود و جسم هم سو با نیرو به اندازه  $d$  جابه‌جا می‌شود.



کار یک کمیت نرده‌ای است و یکای آن  $m\cdot N$  است که **ژول** نامیده می‌شود. این یکارا با نماد  $J$  نمایش می‌دهیم. همان‌طور که در کتاب فیزیک(۱) و آزمایشگاه دیدیم یکای انرژی و گرمای نیز ژول است.

## مثال ۱۴

در شکل ۱-۴-ب اگر شخص نیرویی افقی برابر  $4\text{N}$  را به کالسکه وارد و آن را به اندازه  $1\text{m}$  جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

**پاسخ:** بر طبق رابطه ۱-۴ داریم:

$$W = Fd$$

$$W = 4 \times 1 = 4\text{J}$$

## مثال ۱۴

مطابق شکل ۱-۴-الف اگر شخصی نیرویی برابر  $3\text{N}$  نیوتون را به جسم اعمال کند و آن را به اندازه  $5\text{m}$  متراً بالا ببرد چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

**پاسخ:**

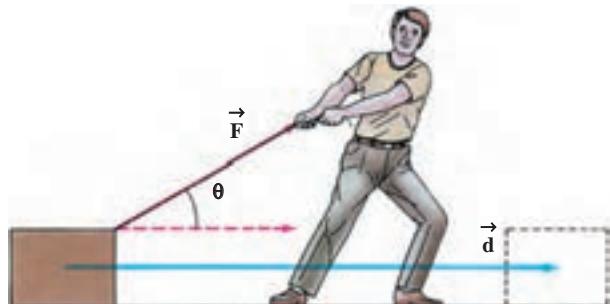
$$W = Fd$$

$$W = 3 \times 5 = 15\text{J}$$

در شکل ۱-۴-۳ نیرویی که مرد بر جعبه وارد می‌کند، با جابه‌جایی جعبه زاویه  $\theta$  می‌سازد. در چنین مواردی برای تعیین کار نیروی ثابت  $\vec{F}$  در جابه‌جایی  $\vec{d}$  از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$W_F = Fdcos\theta \quad (2-4)$$

اگر در این رابطه  $\theta = 90^\circ$  باشد، رابطه ۱-۴ به دست می‌آید.



شکل ۱-۴-۳-مرد با نیروی  $F$  که بر استای افق زاویه  $\theta$  می‌سازد، جعبه را به اندازه  $d$  جابه‌جا می‌کند.

## مثال ۱۴

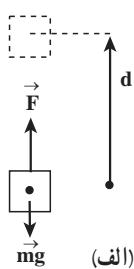
در شکل ۱-۴-۳ اگر نیرویی که مرد بر جعبه وارد می‌کند  $5\text{N}$  و زاویه آن با جابه‌جایی  $60^\circ$  باشد. کار نیروی مرد را در  $3\text{m}$  متر جابه‌جایی حساب کنید.

**پاسخ:** بر طبق رابطه ۲-۴ داریم:

$$W_F = Fdcos\theta$$

$$W_F = 5 \times 3 \times \cos 60^\circ = 75\text{J}$$

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.



جسمی به جرم  $m$  را با نیروی ثابت  $F$  مطابق شکل الف به اندازه  $d$  بالا می‌بریم.

الف) کار نیروی وزن در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی چقدر است؟

**پاسخ:** الف) در این حالت زاویه بین نیروی وزن و بردار جابه‌جایی  $180^\circ$  است (شکل ب).

در نتیجه، بر طبق رابطه ۴-۲ داریم:

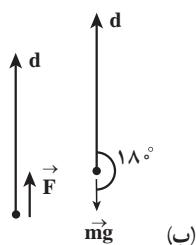
$$W_{mg} = mgd \cos 180^\circ$$

$$= -mgd$$

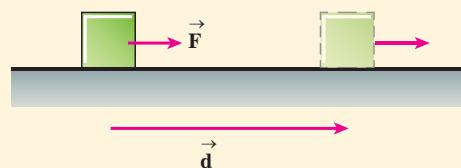
ب) زاویه نیروی  $F$  و جابه‌جایی، صفر است (شکل ب) در نتیجه داریم:

$$W_F = Fd \cos 0^\circ$$

$$= Fd$$



### تمرین ۱۴-۱



در شکل رو به رو نیروی ثابت  $\vec{F}$  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 تکیه گاه.

ت) کار نیروی وزن.

### مثال ۱۴-۳

در طول مدتی که وزنه‌بردار وزنه را بالای سر خود نگه می‌دارد:

الف) کار نیروی دست او بر روی وزنه چقدر است؟

ب) آیا او در این مدت انرژی مصرف می‌کرد؟ توضیح دهید.

**پاسخ:** الف) در این حالت وزنه‌بردار برای نگهداشتن وزنه، نیرویی برابر با وزن آن به آن وارد می‌کند. ولی چون جابه‌جایی

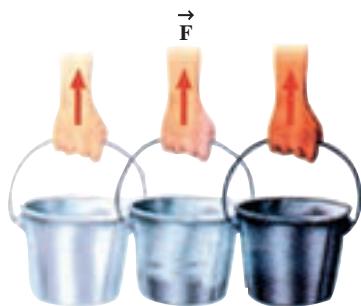
صفر است، کار او برابر است با:

$$W = Fd = mg \times 0 = 0 \text{ J}$$

ب) وزنه‌بردار در این مدت انرژی مصرف می‌کند و انرژی مصرف شده او در نهایت به صورت گرمایه به محیط بیرون داده

می‌شود.

## مثال ۷-۱۴



شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سلط آبی به جرم  $m$  را مطابق شکل رو به رو حمل و به اندازه  $d$  جایه جا می کند. کار نیروی دست در این جایه جایی چقدر است؟

**پاسخ:** شخص برای اینکه سلط را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سلط را به بالا به آن وارد کند. چون سلط با سرعت ثابت حرکت می کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی کند. زاویه بین نیرو و جایه جایی  $90^\circ$  است، درنتیجه:

$$W = F d \cos 90^\circ = mg d \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

مثال های ۴-۵ و ۴-۶ نشان می دهند کاری که در فیزیک تعریف می شود با مفهوم کاری که در گفت و گوهای روزمره خود استفاده می کنیم، تفاوت دارد.

## ۴-۲ رابطه کار و انرژی جنبشی

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

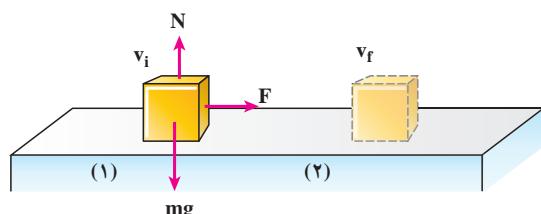
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3-4)$$

داده می شود. سرعت تویی که در امتداد قائم به هوا پرتاب شده باشد، رفته رفته کاهش می یابد و درنتیجه انرژی جنبشی توپ نیز کم می شود. اینک فرض کنید توپ را از حالت سکون از یک بلندی رها کنیم، سرعت و درنتیجه انرژی جنبشی توپ به تدریج افزایش می یابد. اکنون تویی را در نظر بگیرید که به دیواری برخورد کند و برگردد، در این برخورد ابتدا سرعت و انرژی جنبشی آن کاهش و سپس افزایش می یابد. روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. مثلاً انرژی جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می یابد و ....

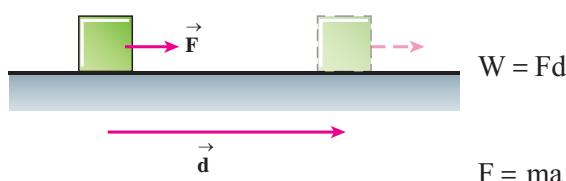
## فعالیت ۱-۱۴

در هر یک از مثال های بالا (الف) نیروهای وارد بر جسم را تعیین کنید. ب) علامت کار هر نیرو را مشخص کنید.

در مثال های بالا هر یک از نیروهای وارد بر جسم کار انجام می دهند و این کارها سبب تغییر انرژی جنبشی جسم می شود. برای توضیح این موضوع مثال زیر را در نظر می گیریم، جسمی به جرم  $m$  مطابق شکل ۴-۴ روی سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارد. این جسم تحت تأثیر نیروی ثابت  $F$  به اندازه  $d$  روی سطح جایه جایی شود. کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جایه جایی صفر است.



شکل ۴-۴ - جسم تحت تأثیر نیروی ثابت  $F$ ، از سرعت اولیه  $v_i$  به سرعت نهایی  $v_f$  می رسد.



کار نیروی  $F$  با رابطه زیر داده می‌شود :

چون  $F$  مساوی برایند نیروهای وارد بر جسم است، داریم :

$$F = ma$$

در اثر اعمال نیروی  $F$  سرعت جسم از مقدار  $v_i$  در نقطه (۱) به مقدار  $v_f$  در نقطه (۲) تغییر می‌کند.

با استفاده از رابطه ۲-۲ داریم :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad$$

اگر از این رابطه  $a$  را به دست آوریم و در رابطه ۳-۱ قرار دهیم، خواهیم داشت :

$$F = m \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \quad (4-4)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطه ۴-۱ رابطه زیر به دست می‌آید :

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (5-4)$$

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

درنتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به ترتیب با  $K_f$  و  $K_i$  نشان دهیم، رابطه ۴-۵ را می‌توان

به صورت زیر نوشت :

$$W = K_f - K_i \quad (6-4)$$

در این مثال خاص دیدیم که فقط کار یک نیرو غیر صفر بود. در مثال‌های دیگر اگر کار پیش از یک نیرو غیر صفر باشد، سمت چپ رابطه ۶-۴، **مجموع آن کارها** خواهد بود.

رابطه ۶-۶ **قضیه کار و انرژی** نامیده می‌شود. برطبق این قضیه، **مجموع کارهای نیروهای وارد بر هر جسم در یک جا به جایی برابر با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جا به جایی است.**

اگر مجموع کارها مثبت باشد،  $K_f > K_i$  است و انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد و اگر مجموع کارها منفی باشد،  $K_f < K_i$  است و انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد و به همین ترتیب اگر مجموع کارها صفر باشد،  $K_f = K_i$  است و انرژی جنبشی جسم تغییر نمی‌کند.

## فعالیت ۴-۶

با توجه به نکات فوق علّت افزایش و یا کاهش انرژی جنبشی اجسام را در مثال‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شدند توضیح دهید.

## مثال ۷-۱۴



چتریازی از ارتفاع ۸۰۰ متری از حال سکون رها می‌شود. جرم چتریاز به همراه چترش ۸۰ kg با سرعت ۵m/s به زمین بررسد، به کمک قضیه کار و انرژی کار نیروی مقاومت هوا در مسیر سقوط را بدست آورید. (شتاب گرانش را ۱۰m/s² فرض کنید).  
**پاسخ :** در این مثال، بر چتریاز دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم :

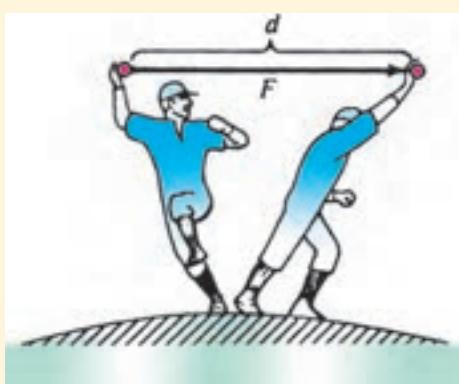
$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{مقاومت هوا}} = K_f - K_i$$

$$mgh \cos^2 + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$80 \times 10 \times 800 \times 1 + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{1}{2} \times 80 \times 5^2 - 0$$

$$640000 + W_{\text{مقاومت هوا}} = 1000 \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} = -639000 \text{ J}$$

## تمرین ۷-۱۴



ورزشکاری مطابق شکل، بدن و دست خود را طوری حرکت می‌دهد تا توپ را با بیشترین سرعت پرتاب کند، اگر جرم توپ ۵ kg باشد و ورزشکار نیروی تقریباً ثابت ۲۰۰ N را در فاصله ۰.۵ m جابه‌جایی توپ بر آن وارد کند، توپ با چه سرعتی پرتاب می‌شود؟

## مثال ۷-۱۵



خودرویی به جرم ۱۲۰ kg با سرعت ۷۲km/h در حرکت است. اگر راننده ترمز کند، خودرو پس از طی مسافتی می‌ایستد. کار نیروی اصطکاک را از لحظه ترمز تا توقف کامل خودرو به دست آورید.

**پاسخ :** سرعت خودرو قبل از ترمز کردن برابر است با :

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

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

$$K_i = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 1200 \times 20^2 = 240000 \text{ J}$$

همچنین  $K_f = 0$  است.

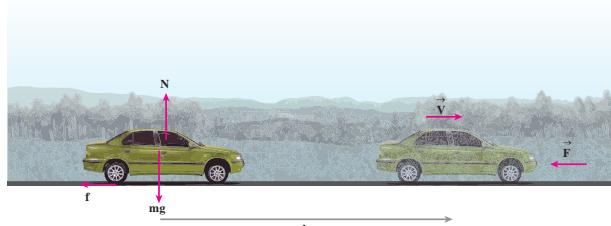
از طرف دیگر، نیروی اصطکاک، نیروی عمودی سطح و نیروی وزن نیروهایی هستند که بر جسم اثر می‌کنند.  
درنتیجه :

$$W_f + W_N + W_{mg} = K_f - K_i$$

ولی کار نیروی عمودی سطح و نیروی وزن برابر صفر است. درنتیجه :

$$W_f = -240000 \text{ J}$$

$$W_f = -240000 \text{ J}$$



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

#### مثال ۹-۱۴



کامیونتی به جرم ۳ تن با سرعت ۳۶km/h در حرکت است. راننده ناگهان ترمز محکمی می‌کند. به طوری که هر چهار چرخ آن قفل می‌شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک‌ها  $\mu = 0.8$  باشد، کامیونت چند متر روی جاده سُر می‌خورد تا بایستد؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) فرض می‌شود.

**پاسخ:** بر کامیونت نیروهای اصطکاک جنبشی، عمودی سطح و وزن وارد می‌شوند. با توجه به قضیه کار و انرژی داریم :

$$W_f + W_N + W_{mg} = K_f - K_i$$

کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جا به جایی صفر است. سرعت اولیه کامیونت  $10 \text{ m/s}$  و سرعت نهایی آن صفر است.

$$W_f = -\frac{1}{2} \times 3000 \times 10^2 \Rightarrow W_f = -150000 \text{ J}$$

$$W_f = f_k d \cos \theta = \mu_k mg d \cos 18^\circ$$

$$-150000 = \mu_k \times 3000 \times 10 \times d \times (-1) \Rightarrow d = 6.25 \text{ m}$$

## آزمایش ۱۴-۱

**وسایل لازم :** در شیشه ترشی یا مربا، زمان سنج، متر فلزی یا نواری

### شرح آزمایش

- ۱- روی زمین یک خط افقی بکشید و در شیشه مربا را پشت خط روی زمین قرار دهید.
- ۲- با پا، به در شیشه ضربه بزنید و از لحظه به حرکت درآمدن آن، زمان سنج را روشن و با توقف آن، زمان سنج را خاموش کنید.  
(برای آنکه بتوانید در شیشه را روی مسیر مستقیم به حرکت درآورید، لازم است قبلًا چند بار تمرین کنید.)
- ۳- با متر، جایه جایی در شیشه را اندازه بگیرید.
- ۴- با استفاده از رابطه  $\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2}$ ، مقدار  $v_i$  را به دست آورید.
- ۵- به کمک قضیه کار و انرژی، ضریب اصطکاک جنبشی بین دو شیشه و کف اتاق را به دست آورید.
- ۶- آزمایش را چند بار تکرار کنید و میانگین ضریب اصطکاک را بیابید.

## ۳-۴ رابطه کار و انرژی پتانسیل

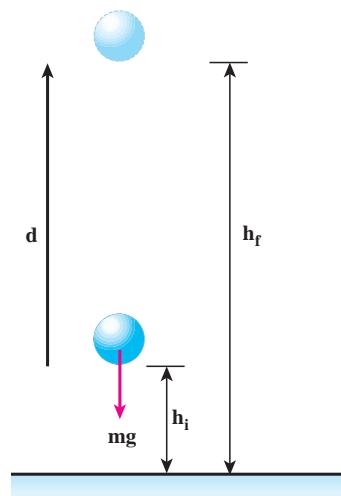
در بخش قبل رابطه میان کار و تغییر انرژی جنبشی را بررسی کردیم. در اینجا می خواهیم در مورد رابطه میان کار و تغییر انرژی پتانسیل بحث کنیم. در ابتدا مورد خاص انرژی پتانسیل گرانشی را در نظر می گیریم.

فرض کنید توپ کوچکی به جرم  $m$  را از ارتفاع  $h_i$  در راستای قائم و رو به بالا پرتاب می کنیم (شکل ۴-۵). سرعت توپ به تدریج کاهش می یابد تا اینکه سرانجام در ارتفاع  $h_f$  برای لحظه‌ای می‌ایستد. کار نیروی وزن در این جایه جایی برابر است با :

$$\begin{aligned} W_{\text{وزن}} &= mgd \cos 180^\circ = mg(h_f - h_i) (-1) \\ &= -(mgh_f - mgh_i) \end{aligned}$$

از فیزیک (۱) و آزمایشگاه به یاد داریم که انرژی پتانسیل گرانشی به جرم  $m$  در ارتفاع  $h$  از سطح زمین از رابطه  $U = mgh$  به دست می آید. بنابراین می توان نوشت :

$$W_{\text{وزن}} = -(U_f - U_i) = -\Delta U \quad (7-4)$$

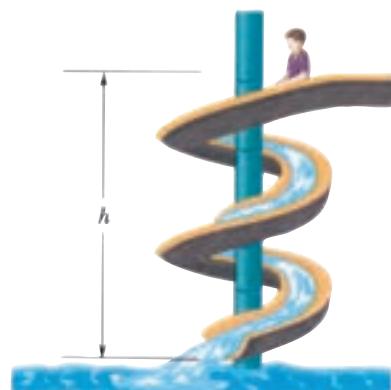


شکل ۴

توپ از ارتفاع  $h_i$  پرتاب می شود و به ارتفاع  $h_f$  می رسد.

به عبارت دیگر، **کار نیروی وزن** برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

اگرچه رابطه ۴-۷ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به بالا پرتاب می شود به دست آوردهیم ولی برای هر جایه جایی دلخواهی برقرار است.



کار نیروی وزن، همیشه برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

کودکی به جرم  $25\text{kg}$  از بالای یک سرسره آبی مطابق شکل به سمت پایین سر می‌خورد. اگر ارتفاع سرسره  $8$  متر باشد:

(الف) انرژی پتانسیل گرانشی کودک در بالا و پایین سرسره را به دست آورید.

(ب) کار نیروی وزن در این جا به جایی را محاسبه کنید. ( $g=10\text{m/s}^2$ ).

فرض می‌شود.

(الف)

$$U_i = mgh_i = 25 \times 10 \times 8 = 2000\text{J}$$

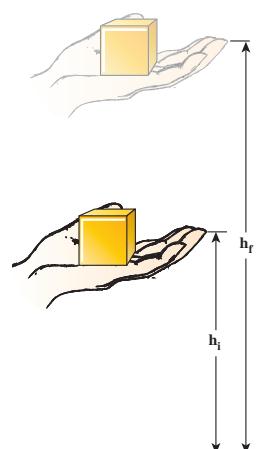
$$U_f = mgh_f = 25 \times 10 \times 0 = 0\text{J}$$

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = U_i - U_f = 2000 - 0 = 2000\text{J}$$

(ب)

جسمی به جرم  $m$  را مانند شکل با دستمان از ارتفاع  $h_i$  به ارتفاع  $h_f$  می‌بریم و دوباره به حالت سکون می‌رسانیم. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا کار نیروی دست در این جا به جایی را بیابید.

**پاسخ:** با استفاده از قضیه کار و انرژی جنبشی داریم:



$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{دست}} = \Delta K$$

از آنجا که جسم در ابتدا و انتهای مسیر ساکن است، تغییر انرژی جنبشی آن صفر است.

$$(\Delta K = 0)$$

بنابراین:

$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{دست}} = 0 \Rightarrow W_{\text{وزن}} = -W_{\text{دست}}$$

با توجه به رابطه ۷-۴ می‌توانیم کار نیروی وزن را با استفاده از تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی به دست آوریم.

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

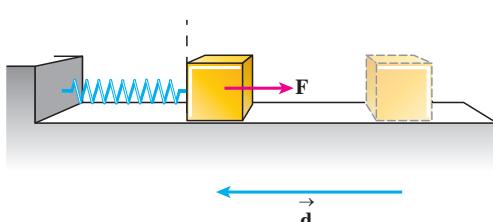
و آن را در رابطه قبل جایگزین کنیم و کار نیروی دست را پیدا کنیم.

$$W_{\text{دست}} = -(-\Delta U) = +(mgh_f - mgh_i)$$

در تجربیات روزمره و همچنین در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیده‌ایم

که فن فشرده یا کشیده دارای انرژی پتانسیل کشسانی است. وقتی جسمی را به سوی فن فشرده بگذاریم، پس از برخورد، فن فشرده می‌شود و انرژی پتانسیل آن افزایش می‌یابد. در مدت تماس جسم با فن، فن نیرویی در خلاف جهت جا به جایی به جسم وارد می‌کند (شکل ۴-۶) یعنی کار نیروی فن در این جا به جایی، منفی و تغییر انرژی پتانسیل کشسانی مثبت است. در مورد تغییر انرژی پتانسیل کشسانی نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می‌توانیم بگوییم:

$$W_{\text{کشسانی}} = -\Delta U_{\text{فن}}$$



شکل ۴-۶- در مدت تماس جسم با فن، فن نیرویی در خلاف جهت جا به جایی جسم به آن وارد می‌کند.

کار نیرویی کشسانی نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می‌توانیم بگوییم:

## مثال ۱۴-۲

در شکل ۱۴-۶ جسم با انرژی جنبشی  $J_0 = 20$  با فنر برخورد و آن را فشرده می‌کند. اگر بدانیم در لحظه توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی  $J_{15}$  است،

(الف) کار نیروی کشسانی فنر در این جایه جایی چقدر است؟

(ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی، کار نیروی اصطکاک در این جایه جایی را به دست آورید.

**پاسخ:**

$$W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_f - U_i) \quad (\text{الف})$$

انرژی پتانسیل اولیه فنر، صفر و در پایان  $J_0 = 20$  است.

$$W_{\text{فنر}} = -(J_0 - J_f) = -15 \text{ J}$$

(ب) بنابر قضیه کار و انرژی:

$$W_{\text{عمودی سطح}} + W_{\text{وزن}} + W_{\text{اصطکاک}} = K_f - K_i$$

$$-15 + W_{\text{اصطکاک}} = -20 \Rightarrow W_{\text{اصطکاک}} = -5 \text{ J}$$

## فعالیت ۱۴-۳

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

## ۱۴-۴ پایستگی انرژی مکانیکی

جسمی را در راستای قائم رو به بالا پرتاب می‌کنیم. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم از  $K_i$  به  $K_f$  و انرژی پتانسیل گرانشی آن از  $U_i$  به  $U_f$  تغییر می‌کند. با توجه به رابطه کار و انرژی پتانسیل گرانشی می‌توانیم بنویسیم:

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_f - U_i)$$

اگر از مقاومت هوا برای این جسم چشم پوشی کنیم تنها نیروی وارد بر آن وزن است و بنابر قضیه کار و انرژی داریم:

$$W_{\text{وزن}} = \Delta K = K_f - K_i$$

با مقایسه این دو رابطه می‌توانیم بنویسیم:

$$-(U_f - U_i) = K_f - K_i$$

$$U_i + K_i = U_f + K_f \quad \text{و یا}$$

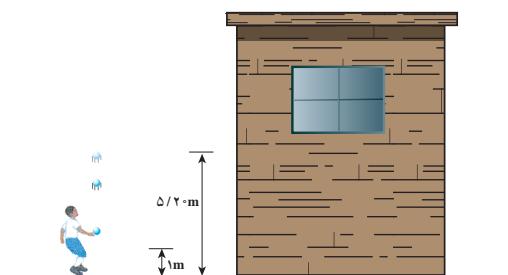
یعنی مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف از مسیر حرکت با هم برابر است.

مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم را **انرژی مکانیکی** آن می‌نامیم و با  $E$  نشان می‌دهیم.

$$E_i = E_f$$

به عبارت دیگر، با چشم پوشی از نیروی مقاومت هوا انرژی مکانیکی جسم ثابت باقی می‌ماند

که به این نتیجه **پایستگی انرژی مکانیکی** می‌گوییم.



مطابق شکل پسربچه‌ای یک سنگ ریزه را با سرعت اولیه  $v_i = 10 \text{ m/s}$  از ارتفاع یک متری سطح زمین در راستای قائم رو به بالا پرتاب می‌کند. با چشم‌پوشی از مقاومت هوای سرعت عبور سنگ ریزه از لبه پنجه‌های را حساب کنید که تا زمین  $5/2$  متر فاصله دارد.  
( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

**پاسخ:** با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی

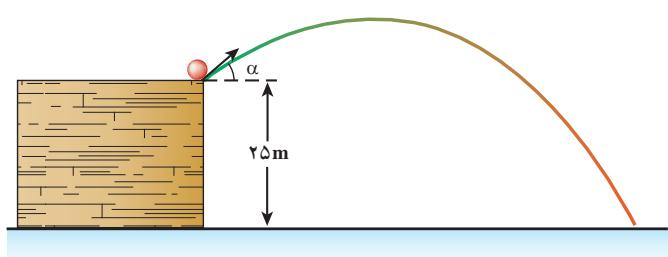
$$E_f = E_i$$

$$mgh_f + \frac{1}{2}mv_f^2 = mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2$$

در طرفین تساوی  $m$  را می‌توانیم حذف کنیم و با جایگزینی عدددها مقدار  $v_f$  به دست می‌آید.

$$10 \times 5/2 + \frac{1}{2}v_f^2 = 10 \times 1 + \frac{1}{2}(10)^2$$

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



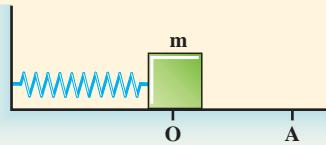
از بالای یک بلندی به ارتفاع  $25$  متر جسمی را مطابق شکل با سرعت  $20 \text{ m/s}$  پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم هنگام برخورد با زمین چقدر است؟  $g = 10 \text{ m/s}^2$  و از مقاومت هوای چشم‌پوشی کنید.

**پاسخ:** با توجه به اینکه مقاومت هوای نداریم، انرژی مکانیکی جسم پایسته است.

$$E_f = E_i \Rightarrow mgh_f + \frac{1}{2}mv_f^2 = mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\Rightarrow gh_f + \frac{1}{2}v_f^2 = gh_i + \frac{1}{2}v_i^2$$

$$+ \frac{1}{2}v_f^2 = 10 \times 25 + \frac{1}{2} \times 20^2 \Rightarrow v_f = 30 \text{ m/s}$$



مطابق شکل جسمی به جرم  $m$  به فنر متصل است و روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارد. جسم را تا نقطه  $A$  می‌کشیم و سپس رها می‌کنیم. با توجه به اینکه به مجموع انرژی جنبشی جسم و انرژی پتانسیل کشسانی فنر انرژی مکانیکی مجموعه جسم-فنر می‌گوییم، با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی چگونگی حرکت جسم را توصیف کنید.

اگر توانیم از مقاومت هوا چشم پوشی کنیم، برای جسمی که در راستای قائم حرکت می کند، قضیه کار و انرژی به صورت زیر نوشته می شود :

$$W_{\text{هوای مقاومت}} + W_{\text{وزن}} = \Delta K = K_f - K_i$$

و این در حالی است که رابطه کار و انرژی پتانسیل گرانشی برای جسم همچ تغییری نمی کند.

$$W_{\text{هوای مقاومت}} = -\Delta U = -(U_f - U_i)$$

با جایگزینی کار نیروی وزن در رابطه قبلی می توان نوشت :

$$W_{\text{هوای مقاومت}} + (-\Delta U) = \Delta K$$

$$W_{\text{هوای مقاومت}} = \Delta K + \Delta U$$

$$W_{\text{هوای مقاومت}} = K_f - K_i + U_f - U_i$$

$$= (K_f + U_f) - (K_i + U_i) = E_f - E_i$$

یعنی با وجود مقاومت هوا، دیگر انرژی مکانیکی پایسته نمی ماند و تغییر می کند. توجه داریم در مواقعی که از مقاومت هوا چشم پوشی نمی شود با اینکه انرژی مکانیکی پایسته نمی ماند و در طول حرکت کم می شود، اما قانون پایستگی انرژی همواره برقرار است. یعنی همان قدر که انرژی مکانیکی کاهش می یابد، انرژی درونی جسم و هوای پیرامونش زیاد می شود و جسم و هوای پیرامونش گرم می شود.

#### مثال ۱۴-۱۰

از بالگردی که در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین با سرعت ۱۰ m/s در پرواز است، بسته ای به جرم ۱۰ kg رها می شود و با سرعت ۲۰ m/s به زمین می رسد. کار نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظه رهاشدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ( $g = ۱۰ \text{ m/s}^2$  است).



پاسخ :

$$\begin{aligned} W_{\text{هوای مقاومت}} &= E_f - E_i \\ &= (K_f + U_f) - (K_i + U_i) \end{aligned}$$

$$= \left( \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f \right) - \left( \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i \right)$$

بسته در لحظه جداشدن از بالگرد، سرعت ۱۰ m/s دارد.

$$\begin{aligned} W_{\text{هوای مقاومت}} &= \left( \frac{1}{2} \times 10 \times 20^2 + 0 \right) - \left( \frac{1}{2} \times 10 \times 10^2 + 10 \times 10 \times 50 \right) \\ W_{\text{هوای مقاومت}} &= -350 \text{ J} \end{aligned}$$

## ۵-۴ توان

در بخش ۱-۴ در مورد محاسبه کار بحث شد. ولی، در مورد آهنگ انجام کار صحبتی نشد. کار می‌تواند کند و یا تند انجام شود. مثلاً یک جسم را می‌توان در ۶ ثانیه یا ۱۰ ثانیه به یک ارتفاع معین رساند. در هر دو مورد کار انجام شده توسط بالابر یکسان است. ولی در مورد اول کار سریع تر انجام شده است. برای درنظرگرفتن سرعت انجام کار کمیت مناسبی را به نام توان تعریف می‌کنیم. فرض کنید نیروی  $F$  کار  $W$  را در مدت  $\Delta t$  انجام داده است. توان متوسط انجام کار به وسیله نیروی  $F$  ( $\bar{P}$ ) از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به دست می‌آید:

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} \quad (8-4)$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه (J/s) است. این یکا به احترام جیمز وات، که سرعت انجام کار موتورهای بخار را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. وات (W) نامیده می‌شود. برطبق این تعریف، هر اندازه کار معینی در زمان کمتری انجام شود و یا در زمان معینی کار بیشتری انجام گیرد، توان انجام آن کار بیشتر است.

### مثال ۱۷

جرم اتفاق بالابری به همراه سرنشینان آن  $500 \text{ kg}$  است. اگر این بالابر در مدت  $10 \text{ s}$  از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع  $6 \text{ متر}$  برود توان متوسط انجام کار به وسیله موتور بالابر چقدر است? ( $10 \text{ m/s}^2 = g$  است.)

**پاسخ:** با استفاده از قضیه کار و انرژی می‌توانیم بنویسیم:

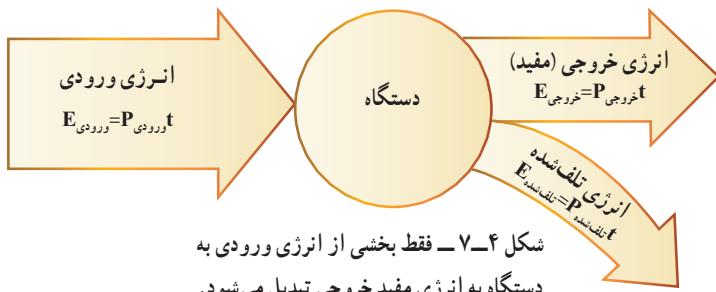
$$\begin{aligned} W_{\text{مотор}} + W_{\text{وزن}} &= \Delta K \\ -mg(h_f - h_i) + W_{\text{مотор}} &= 0 \\ W_{\text{مотор}} &= mg(h_f - h_i) \\ W_{\text{مотор}} &= 500 \times 10 \times 6 = 30000 \text{ J} \end{aligned}$$

با توجه به تعریف توان متوسط داریم:

$$\bar{P} = \frac{W_{\text{مотор}}}{\Delta t} = \frac{30000}{10} = 3000 \text{ W}$$

هر دستگاه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی دستگاه) را به انرژی مورد نظر ما تبدیل می‌کند. مثلاً هدف از روشن کردن پنکه به حرکت درآوردن هواست و برای این منظور پنکه بخشی از انرژی الکتریکی ورودی را به کار مکانیکی (انرژی حرکتی) تبدیل می‌کند و بخش دیگر به صورت انرژی های ناخواسته ای مانند انرژی گرمایی و صدا درمی‌آید. یا با روشن کردن لامپ می‌خواهیم نور به ما برسد. لامپ رشتہ ای بخش کمی از انرژی الکتریکی را به نور (حدود ۲۰ درصد) و بقیه آن را به انرژی درونی لامپ و محیط تبدیل می‌کند. شکل ۴-۸ طرح وارهایست که این نوع تبدیل انرژی ها در دستگاه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که طرح واره نشان می‌دهد همواره فقط بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی مفید نیز می‌گویند. نسبت انرژی مفید به انرژی ورودی را بازده می‌نامیم.



شکل ۷-۴ - فقط بخشی از انرژی ورودی به دستگاه به انرژی مفید خروجی تبدیل می‌شود.

$$\frac{\text{انرژی مفید یا کار انجام شده به وسیله دستگاه}}{\text{انرژی یا کار داده شده به دستگاه}} = \text{بازده} \quad (8-4)$$

روشن است که مقدار این کسر همواره کوچک‌تر از ۱ است. معمولاً بازده را به شکل درصد  $\times 100\%$  بازده  $=$  بازده برحسب درصد بیان می‌کنیم.

این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به کار یا انرژی خروجی مورد نظر تبدیل شده است.

#### مثال ۱۴-۳

صرف بنزین خودرویی که با سرعت  $90\text{ km/h}$  حرکت می‌کند در هر  $100\text{ km}$ ,  $6\text{ لیتر}$  است. انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین  $3/5 \times 10^7\text{ J}$  است.  $65\text{ درصد}$  انرژی ناشی از سوختن بنزین در این خودرو از طریق اگزوز و دستگاه خنک کننده موتور مستقیماً به هوا داده می‌شود و  $15\text{ درصد}$  از انرژی در دستگاه تهویه، در دینام و در اثر اصطکاک بین اجزای موتور مصرف می‌شود.

الف) چند درصد از انرژی، صرف راندن خودرو می‌شود؟

ب) توان مفید خودرو چقدر است؟

پ) یکای رایج برای توان خودرو اسب بخار (hp) است و هر اسب بخار ( $hp$ )  $746\text{ وات}$  است. توان مفید این خودرو چند اسب بخار است؟

**پاسخ :**

$$E_{\text{مفید}} = (6\text{ lit})(3/5 \times 10^7 \text{ J/lit}) \left( \frac{90}{100} \right) = 4/2 \times 10^7 \text{ J}$$

$$t = \frac{100}{90} \text{ h} = \frac{100}{90} \times 3600 \text{ s} = 4000 \text{ s}$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{6 \times 3/5 \times 10^7 \times 0/2}{4 \times 10^3} = 1/0.5 \times 10^4 \text{ W}$$

$$= \frac{1/0.5 \times 10^4}{746} = 14 \text{ hp}$$

#### تمرین ۱۴-۳

در ساختمانی برای بالابر مصالح از یک بالابر الکتریکی استفاده می‌شود که با توان متوسط یک کیلووات، الکتریسیته مصرف می‌کند. اگر زمان مصرف انرژی الکتریکی در بالابر با زمان بالابر مصالح تا ارتفاع مورد نظر یکسان و بازده  $60\%$  باشد، تعیین کنید که بالابر در چه مدت زمانی می‌تواند باری به جرم  $100\text{ kg}$  را  $10\text{ متر}$  بالا ببرد.

## غیاث الدین جمشید کاشانی



غیاث الدین کاشانی، در حدود سال ۷۳۰ هجری شمسی در کاشان، به دنیا آمد. از دوران کودکی و نوجوانی غیاث الدین، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در بیشتر کتاب‌ها از او به نام جمشید بن مسعود بن محمد طبیب کاشانی یاد کرده‌اند. آن‌طور که از لقب جد پدری اش برمنی‌آید، طبابت در خانواده ایشان رواج داشته است و آنها مهارت‌های فراوانی در این کار از خود نشان داده‌اند، اما غیاث الدین کوچک به پژوهش‌گرانی علاقه نشان نمی‌داد.

غیاث الدین در زمان تیموریان زندگی می‌کرد که با یورش‌های

مغول به ایران همراه بود. در آن زمان شرایط فraigیری علم و دانش سخت بود اما پدر غیاث الدین باعث شد تا پسرش در مسیر استعداد واقعی اش پرورش پیدا کند. او چون به نجوم و حرکات سیارات و ستارگان علاقه فراوانی داشت از همان کودکی، با پشتکار به رصد شبانه می‌پرداخت. غیاث الدین جوان، پس از انجام تحقیق‌ها و مطالعاتش توانست ابزار نجومی مختلفی برای محاسبات دقیق حرکت و وضعیت ستارگان اختراع کند. همچنین کتاب‌های ارزشمند و نفیس زیادی را طی سال‌های ۷۸۶-۷۹۵ هجری شمسی تا هجری شمسی در زمینه نجوم تألیف کرد که از آن جمله‌اند:

- کتاب «سلم السماء» (نردنی آسمان): این کتاب درباره مسائل نجومی، ابعاد سیارات، قطرها و اندازه اجرام آنهاست.

- کتاب «مختصری در علم هیأت»: در این کتاب به حل بعضی سوال‌های مطرح شده در محاسبات نجومی پرداخته شده است و پانزده بخش دارد.

- کتاب «نزهه الحدائق»: این کتاب که به زبان عربی تألیف شده است، معرف چگونگی استفاده از وسیله‌ای نجومی به نام «طبق المناطق» است که خود کاشانی آن را اختراع کرده بود و با آن تقویم ستارگان هفتگانه و عرض و ابعاد آنها را در زمین محاسبه می‌کرد و خسوف و کسوف را به آسان‌ترین راه تشخیص می‌داد. او همچنین رساله «آلات رصد» را تألیف نمود که در آن به توضیح طرز کار ابزار مورد استفاده در نجوم پرداخته است که بعضی از آنها اختراع خود غیاث الدین بوده است.

از دیگر کارهای او در آن دوران می‌توان به اتمام کار تحقیقی زیج خودش، با نام «زیج خاقانی» اشاره کرد که در آن زمان، زیج نو و جدیدی بوده است.

در سال ۸۰۱ هجری شمسی به دعوت الغیم بیگ، حاکم سمرقند، کاشان را به قصد سمرقند ترک کرد. در سمرقند با دانشمندان زیادی از جمله دانشمندان تاشکندی رقابت داشت و به دلیل نیوگ بالای او، دانشمندان به او حسادت می‌کردند. رساله «محیطیه» و کتاب «مفتاح الحساب» را در سمرقند به زبان عربی تألیف کرد، «مفتاح الحساب» را بعدها سه دانشمند روسی، به زبان روسی منتشر کردند.

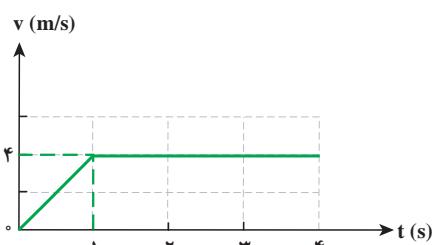
از مهم‌ترین اقدامات او، ساختن ساختمان رصدخانه در سمرقند بود، با ساخت ابزار نجومی‌ای که خودش آنها را طراحی کرده بود، تحقیقات و رصدهای شبانه در این رصدخانه آغاز شد. او قصد تهیه زیج دقیق‌تری را داشت، اما قبل از آنکه به پایان برسد، در سال ۸۰۹ هجری شمسی، هنگام رصد شبانه، از دنیا رفت.

## پرسش‌های فصل چهارم

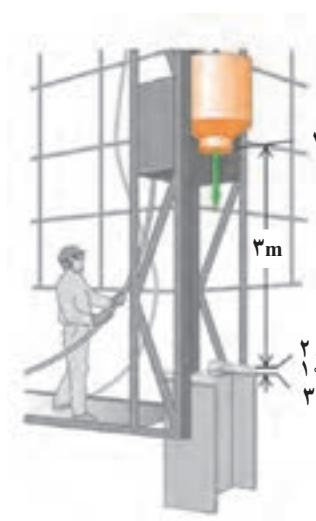
- ۱ دو جسم هم جرم A و B را به بالای برج بلندی می‌بریم. جسم A را با جرثقیل به طور مستقیم بالا می‌بریم و جسم B را خیلی آرام از پله هایی که برج را دور می‌زنند بالا می‌بریم. اگر دو جسم را در بالای برج کنار هم قرار دهیم کدام گزاره‌ها درست هستند؟  
 الف) انرژی پتانسیل گرانشی جسم B از A کمتر است، زیرا آرام تر به بالا برد شده است.  
 ب) انرژی پتانسیل گرانشی جسم A از B کمتر است، زیرا برای رسیدن به بالای برج مسافت کمتری پیموده است.  
 پ) کار نیروی وزن برای هر دو جسم یکسان است.  
 ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو جسم در بالای برج یکسان است.
- ۲ آیا انرژی جنبشی می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی چطور؟ توضیح دهد.
- ۳ کتابی را از روی سطح زمین بر می‌داریم و آن را روی میز می‌گذاریم. در این فعالیت کار انجام می‌دهیم اما انرژی جنبشی کتاب تغییر نمی‌کند. آیا قضیه کار و انرژی در این مورد نقض شده است؟ توضیح دهد.
- ۴ وقتی می‌گوییم «توان مفید خروجی دستگاه A از توان مفید خروجی دستگاه B بیشتر است» منظور مان چیست؟

## مسائل فصل چهارم

- ۱ شخصی به جرم  $50\text{ kg}$  داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور ۵ متر بالا می‌رود. در هر یک از موارد زیر کار هر یک از نیروهای وارد بر شخص را حساب کنید.  
 الف) آسانسور با سرعت ثابت بالا می‌رود.  
 ب) آسانسور شتاب رو به بالای  $2\text{ m/s}^2$  دارد.
- ۲ در مسئله ۱ حاصل جمع کار نیروها را با استفاده از قضیه کار و انرژی بدست آورید.
- ۳ هواپیمایی به جرم  $10\text{ t}$  در مدت یک دقیقه می‌تواند به سرعت  $300\text{ m/s}$  برسد و تا ارتفاع  $500\text{ m}$  اوج بگیرد.  
 الف) کار نیروی وزن در این مدت چقدر است؟  
 ب) چه نیروهای غیر از وزن بر هواپیما اثر می‌کند؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت است?  
 پ) جمع کار نیروهای وارد بر هواپیما چقدر است؟  
 ت) توان انجام کار نیروهای غیر از وزن را بیابید.



- ۴ نمودار سرعت - زمان متحرکی به جرم  $5\text{ kg}$  در شکل روبرو داده شده است. جمع کار نیروهای وارد بر جسم را الف) به طور مستقیم ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی برای این متحرک حساب کنید.



۵ در یک دستگاه پایه کوبی، مطابق شکل روبرو، پتکی به جرم  $200\text{ kg}$  را به ارتفاع  $3\text{ m}$  بالای پایه آهنسی می بردند و آن را رها می کنند. پایه در اثر برخورد پتک،  $10\text{ cm}$  در زمین فرو می رود. ریل های قائمی که پتک را هدایت می کنند، نیروی اصطکاک ثابت  $N_6$  بر آن وارد می کنند. با استفاده از قضیه کار و انرژی (الف) سرعت پتک در لحظه قبل از برخورد به پایه را بدست آورید.

ب) کار نیرویی که پتک به پایه وارد می کند، چقدر است؟

۶ گلوله ای به جرم  $24\text{ g}$  با سرعت  $50\text{ m/s}$  به طور افقی وارد تنۀ درختی می شود. اگر گلوله به اندازه  $12\text{ cm}$  در تنۀ درخت فرو رود و متوقف شود، کار نیرویی که تنۀ به آن وارد می کند چقدر است؟

۷ خودرویی به جرم یک تن با سرعت  $72\text{ km/h}$  در حرکت است. راننده خودرو ناگهان مانع را در  $3\text{ m}$ تری خود می بیند و ترمز می کند. چهار چرخ خودرو قفل می شود و پس از مدتی خودرو متوقف می شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین لاستیک خودرو و جاده  $0.5$  باشد، آیا خودرو به مانع برخورد می کند؟ این تمرین را یک بار با استفاده از قضیه کار و انرژی و بار دیگر با استفاده از معادله های فصل حرکت شناسی و دینامیک حل کنید.

۸ گلوله ای به جرم  $5\text{ g}$  از دهانه تفنگی با سرعت افقی  $1\text{ km/s}$  خارج می شود و با سرعت  $4\text{ km/s}$  به زمین برخورد می کند. در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟ (ارتفاع شلیک گلوله را  $1/5\text{ m}$  از سطح زمین در نظر بگیرید).



۹ سورتمه ای که جرم آن به همراه سرنشین اش  $50\text{ kg}$  است، از بالای تپه ای، از حال سکون شروع به حرکت می کند.

الف) اگر ارتفاع تپه  $10\text{ m}$  و اصطکاک قابل چشم پوشی باشد، سرعت سورتمه در پایین تپه چقدر خواهد بود؟

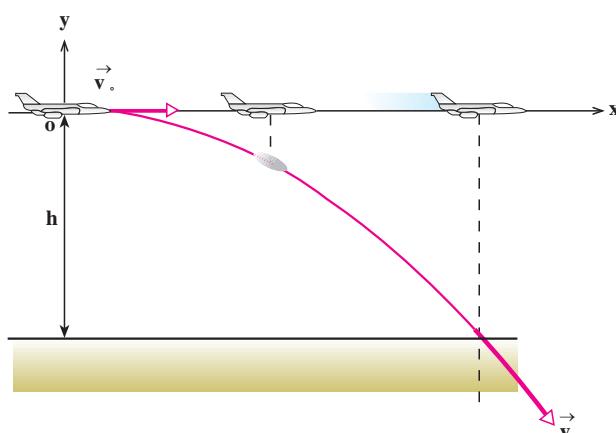
ب) فرض کنید مسیر تپه اصطکاک داشته باشد و سرعت سورتمه در پایین مسیر  $3\text{ m/s}$  شود. چه مقدار انرژی بر اثر اصطکاک به انرژی درونی تبدیل می شود؟

۱۰ یک ورزشکار پرتاپ وزنه، با پیش گذاشتن پاسخی می کند بیشترین سرعت ممکن را به وزنه بدهد. اگر پرتاپگر به طور متوسط نیروی  $N_{20}$  را در جایه جایی  $m_{10}$  روی وزنه ای به جرم  $7\text{ kg}$  اعمال کند، سرعت وزنه هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟

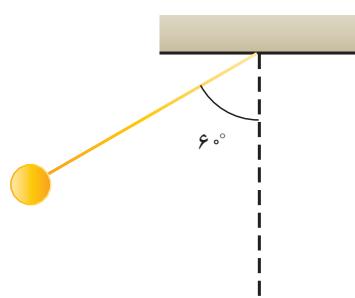
۱۱ پسر بچه ای گلوله برفی به جرم  $g_{200}\text{ g}$  را از زمین بر می دارد و تا ارتفاع  $1/5\text{ m}$  بالا می برد و آن را با سرعت  $10\text{ m/s}$  پرتاپ می کند. پسر بچه چند ژول کار روی گلوله انجام می دهد؟



- ۱۲ در شکل رو به رو 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.



- ۱۳ در شکل رو به رو هواپیما که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت ۹۰ km/h به طور افقی پرواز می کند، بسته ای را رها می کند. سرعت بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از مقاومت هوا چشم پوشی کنید).



- ۱۴ آونگی به جرم ۷۰ کیلوگرم، ۵۰ پله را در زمان یک دقیقه بالا می رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را ۳۰ سانتی متر فرض کنید.
- ۱۵ آونگی به جرم ۱۰۰ kg و طول ۱ m را مطابق شکل رو به راه اندازه ۶۰° از وضعیت قائم منحرف و از حال سکون رها می کنیم.
- الف) سرعت آونگ هنگامی که از وضعیت قائم می گذرد، چقدر است؟
- ب) آونگ از طرف دیگر تا چه ارتفاعی بالا می رود؟ (از مقاومت هوا صرف نظر کنید).

- ۱۶ ارتفاع یک سد ۱۰۰ متر است. توان الکتریکی مولدی که در پایین این سد قرار دارد، تقریباً برابر با  $20 \text{ MW}$  است. اگر  $80^\circ$  درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی پرده های توربین برسد؟ (جرم هر متر مکعب آب را  $1000 \text{ kg}$  بگیرید).

- ۱۷ یک موتور آب الکتریکی حجمی از آب را با آهنگ  $s/m^3 = 15$  تا ارتفاع  $H = 15m$  بالا می برد. اگر بازده موتور  $80\%$  باشد، توان الکتریکی مصرفی موتور چقدر است؟ انرژی جنبشی آب هنگام خروج از دهانه موتور، در مقایسه با انرژی پتانسیل آن قابل چشم پوشی است و هر متر مکعب آب،  $1000 \text{ kg}$  جرم دارد.

- ۱۸ بازده بدن انسان در تبدیل انرژی غذایی به کار تا حدودی به نوع فعالیت بستگی دارد. بازده بدن برای بالا رفتن از پله  $\% 20$  است. فرض کنید شخصی  $60 \text{ کیلوگرمی}$  در مدت  $85$  از پلکانی به ارتفاع  $2m$  بالا می رود. آهنگ مصرف انرژی شخص در این فعالیت چقدر است؟

- ۱۹ آسانسوری با سرعت ثابت،  $10 \text{ نفر مسافر را در } 3 \text{ دقیقه} \text{ تا ارتفاع } 80 \text{ m} \text{ بالا می برد. اگر جرم متوسط هر مسافر } 80 \text{ kg \text{ و جرم آسانسور } 1000 \text{ kg باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟}$



## ویژگی‌های ماده



شل و سفت شدن قیر به  
متختگران قلم زن کمک  
می‌کند تا بدون سوراخ شدن  
فلز بر روی آن نقش و نگارهای  
متنوع ایجاد کند.

قلمهزنی در ایران

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره آبی که از شیر جدا می‌شود هنگام سقوط نیز به شکل قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد ولی مایع‌ها به آسانی متراکم نمی‌شوند؟ چگونه برخی از حشرات روی آب می‌ایستند؟ چرا آب روی برگ نیلوفر آبی به صورت قطره در می‌آید (شکل ۱-۵)؟ چگونه آب از آوندهای درختان بلند بالا می‌رود؟ چگونه فشار وارد بر پدال ترمز می‌تواند سبب توقف خودرو شود؟ با توجه به نیروهای بین مولکولی و چگونگی حرکت مولکول‌های درون ماده می‌توانیم به این برسش‌ها پاسخ دهیم و یا بسیاری از پدیده‌هایی را توجیه کنیم که با برخی از آنها در این فصل آشنا خواهیم شد.



شکل ۱-۵ قطره‌های آب روی برگ نیلوفر آبی

## ۱-۵ حالت‌های مختلف ماده

مواد از اتم‌ها و مولکول‌ها ساخته شده‌اند. اندازه اتم‌ها از مرتبه یک آنگستروم ( $1\text{ \AA} = 10^{-10}\text{ m}$ ) است. اندازه مولکول به این بستگی دارد که از چند اتم ساخته شده باشد و از حدود  $1\text{ \AA}$  برای مولکول‌های کوچک تا  $1000\text{ \AA}$  برای مولکول‌های خیلی بزرگ است. با انجام فعالیت ۱-۵ می‌توانید به تخمینی از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن مایع برسید.

### فعالیت ۱-۱

در ظرف آبی کم عمق با سطحی بزرگ (مانند سینی) آب بزیزد و روی سطح آب مقداری پودر بچه یا پودر فلفل بپاشید. انتهای یک سوزن ته گرد یا یک تار مو را در روغن مایع (یا روغن زیتون) بزنید و درآورید. قطره بسیار کوچکی از روغن در نوک سوزن یا تار مو ایجاد می‌شود. حجم این قطره را با برآورد کردن قطر آن یا به هر روش دیگری تعیین کنید. قطره را وسط ظرف آب بیندازید. قطره با پس‌راندن پودر، روی سطح آب پخش می‌شود و یک لکه روغن روی آب تشکیل می‌شود. صبر کنید تا مساحت لکه به بیشترین مقدار خودش برسد. اکنون مساحت لکه را اندازه بگیرید. با معلوم بودن حجم قطره و مساحت لکه، ضخامت لایه روغن به دست می‌آید. این ضخامت برآورده از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن است.<sup>۱</sup>

### مثال ۱-۵

در فعالیت ۱-۵ اگر حجم قطره  $5 \times 10^{-5}\text{ cm}^3$  و قطر لکه  $10\text{ cm}$  باشد،

الف) ضخامت لکه چقدر است؟

ب) اگر فاصله متوسط مولکول‌های روغن کنار هم  $1\text{ \AA}$  باشد، لکه روغن از چند لایه مولکول روی هم درست شده است؟

۱- این روش برای تخمین ابعاد مولکول روغن را «لرد ریلی» (Lord Rayleigh)، برنده جایزه نوبل فیزیک ۱۹۰۴ پیشنهاد کرده است. گفته می‌شود، در حالت آرمانی قطره روغن آنقدر روی سطح آب پخش می‌شود تا لایه‌ای با ضخامت یک مولکول ایجاد شود.

پاسخ :

$$A = \pi r^2 = \frac{3}{14} \times 25 \approx 79 \text{ cm}^2$$

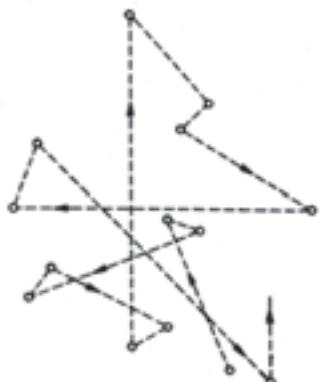
(الف)

حجم قطره برابر با حجم لکه است و از طرفی حجم لکه از حاصل ضرب مساحت لکه (A) در ضخامت آن (h) بدست می آید. بنابراین داریم :

$$Ah \Rightarrow 5 \times 10^{-5} = 79h \Rightarrow h = \frac{5}{79} \times 10^{-5} \text{ cm} = 63 \text{ Å}$$

ب) تعداد لایه ها برابر است با

$$(63 \text{ Å}) \div (10 \text{ Å}) = 6$$



شکل ۲-۵ - طرح وارهای از  
مسیر یک مولکول عطر در هوا  
(بزرگ شده به اندازه  $10^4$  مرتبه)

معمولًاً ماده به حالت (غاز) گاز، مایع و جامد یافت می شود که به بررسی آنها می پردازیم.

**الف) گاز :** در حالت گاز، مولکول ها آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره های ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می کنند. فاصله میانگین مولکول های کثا هم در حالت گاز خیلی بیشتر از این فاصله در حالت مایع و جامد است. مثلاً فاصله میانگین مولکول های هوا در شرایط معمولی در حدود  $25 \text{ Å}$  است.

## فعالیت ۲-۷

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی خالی را بیندید. در این حالت ظرف پراز هوا است. سعی کنید ظرف را متراکم کنید. همین کار را وقتی ظرف پراز آب است نیز انجام دهید. از این آزمایش چه نتیجه ای در مورد تراکم پذیری مایع ها و گازها می گیرید؟

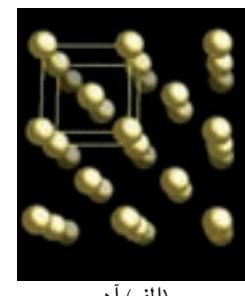
وقتی گلی خوشبو را با خود به اتاق می آورید یا در شیشه عطری را در اتاق باز می کنید، بوی خوش در همه جای اتاق حس می شود. برای توجیه این پدیده می توان گفت وقتی مولکول های عطر با یکدیگر یا با مولکول های هوا برخورد می کنند تغییر مسیر می دهند. هر مولکول عطر در فاصله دو برخورد پی در پی روی مسیری مستقیم حرکت می کند و هر برخورد مسیر آن را تغییر می دهد. در نتیجه مولکول های عطر خطی شکسته را می پیمایند (شکل ۲-۵) و به این ترتیب به همه جای اتاق می روند. این پدیده را **پخش** مولکول های عطر در اتاق می نامیم. با مشاهده پخش شدن بو در اتاق می توان دریافت که مولکول ها در هوا آزادانه و در جهت های مختلف حرکت و به یکدیگر برخورد می کنند.

**ب) جامد:** در جامدها فاصله مولکول‌ها از هم بسیار کمتر از این فاصله در گازها و در حدود  $1\text{ \AA} (10^{-10}\text{ m})$  است. مولکول‌های جامد نمی‌توانند آزادانه به اطراف حرکت کنند، بلکه در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط نوسان‌های بسیار کوچکی در همین مکان‌ها انجام می‌دهند. مولکول‌های برخی از جامدها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های ۳-۵-الف و ب کنار هم قرار می‌گیرند. جسم جامدی را که از تکرار این طرح‌های منظم ساخته می‌شود **جامد بلورین** می‌نامیم. فلزها، نمک‌ها، اغلب مواد معدنی و الماس (شکل ۴-۵) جامدهای بلورین هستند. جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این فرایند مولکول‌ها فرصت کافی دارند که در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

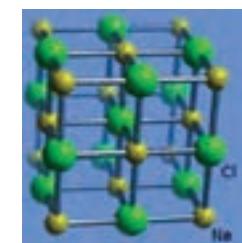
در **جامدهای بی‌شکل** مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها مانند شکل ۳-۵-پ در طرح منظمی کنار هم قرار ندارند. برخی از این جامدها از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. در این شرایط مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم مرتب شوند و به این ترتیب تاحد زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند.

**پ) مایع:** این حالت از ماده حالتی بین گاز و جامد بلورین است. در مایع فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آنها در جامد یعنی در حدود  $1\text{ \AA} (10^{-10}\text{ m})$  است. مولکول‌های مایع نظم اتمی و تقارن بلوری جامدات را ندارند. با این حال به اندازه گازها هم بی‌نظم نیستند.

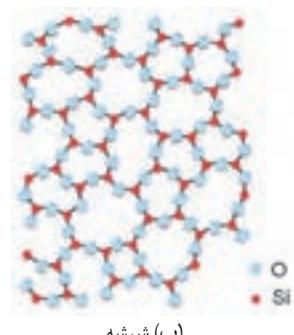
مایع به راحتی جاری می‌شود، به شکل ظرف خودش درمی‌آید و تقریباً تراکم ناپذیر است. پدیده پخش در مایع‌ها نیز مانند گازها رخ می‌دهد ولی با سرعت کمتر. اگر چند قطره جوهر را به آرامی درون لیوان آب بیندازید، شاید مدتی در حدود بیست دقیقه طول بکشد تا به طور کامل در لیوان پخش شود (شکل ۵-۵).



(الف) آهن



(ب) نمک طعام



(پ) شیشه

شکل ۵-۳-آرایش مولکولی جامدهای بلورین (الف) و (ب) و جامدهای بی‌شکل (پ)

## ۲-۵ چگالی

آهن سنگین‌تر است یا چوب؟ این برسشی مبهم و گنگ است. تا وقتی ندانیم ابعاد جسم آهنه و جسم چوبی چقدر است نمی‌توانیم به این برسش پاسخ دهیم. قطعاً یک قطعه تخته بزرگ چوبی از یک میخ کوچک آهنه سنگین‌تر است.



شکل ۵-۴-الماس کوه نور



شکل ۵-۵-جوهر به‌کندی در آب پخش می‌شود.

۱- درست‌تر آن است که بگوییم موادی مانند شیشه یا قیر که ساختار بلورین ندارند و در فیزیک به آنها آمورف می‌گویند به هنگام انجماد یا ذوب تغییر حالت (فاز) نمی‌دهند؛ بلکه فقط سفت یا شُل می‌شوند، یعنی ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدهای بلورین) تغییر نمی‌کند. به همین دلیل در مباحث فیزیکی پیش‌فتدتر، جامد بی‌شکل را مایعی سفت نیز می‌نامند.

- الف) وزنه‌های فلزی، هم‌جنس و با جرم‌های متفاوت تهیه کنید. جرم و حجم هر کدام را اندازه بگیرید؛ سپس نسبت جرم به حجم را برای هر وزنه حساب کنید. نتیجه‌ای که به دست می‌آورید را به کلاس گزارش دهید.
- ب) همین فعالیت را برای ماده دیگری مانند چوب (با بریدن یک قطعه چوب به مکعب‌هایی با ابعاد مختلف) تکرار و نتیجه‌های بدست آمده از قسمت‌های الف و ب را باهم مقایسه کنید.

همان‌گونه که با انجام فعالیت ۵-۳ دریافتید نسبت جرم به حجم برای نمونه‌های هم‌جنس یکسان است. به نسبت جرم به حجم هر جسم **چگالی** آن جسم می‌گوییم.

$$\rho = \frac{\text{حجم جسم}}{\text{چگالی جسم}}$$

جرم جسم را با  $m$ ، حجم جسم را با  $V$  و چگالی آن را با  $\rho$  نشان می‌دهیم. بنابراین

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-5)$$

در دستگاه SI یکای جرم کیلوگرم (kg)، یکای حجم متر مکعب ( $m^3$ ) و بنابراین یکای چگالی کیلوگرم بر متر مکعب ( $kg/m^3$ ) است. از یکاهای دیگر و پرکاربرد چگالی  $g/cm^3$ ،  $g/liter$  و  $kg/liter$  است.<sup>۱</sup>

### مثال ۵-۴

چگالی خون  $1.05 \text{ g/cm}^3$  است. جرم یک لیتر خون چند کیلوگرم است؟ هر لیتر معادل  $1000 \text{ cm}^3$  است.

پاسخ :

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow 1.05 = \frac{m}{1000} \Rightarrow m = 1.05 \cdot 1000 \text{ g} = 1.05 \text{ kg}$$

### تمرین ۵-۱

$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/liter}$  و  $1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/liter}$  نشان دهید

۱- در برخی کتاب‌های فیزیک، لیتر را بانماد  $L$  و  $\text{cm}^3$  را بانماد  $cc$  نشان می‌دهند.

چگالی هر ماده یکی از ویژگی های مهم آن به شمار می رود که کاربردهای گوناگونی دارد. مثلاً ضدیخ خودرو، محلول گلیکول است که به آن کمی مواد ضد خوردگی اضافه می شود. میزان غلظت گلیکول در محلول ضدیخ، که دمای انجماد محلول را تعیین می کند، با اندازه گیری چگالی این محلول به دست می آید. در پژوهشی با آزمایش چگالی خون که در حالت عادی بین  $10^{\circ} \text{g/cm}^3$  و  $11^{\circ} \text{g/cm}^3$  است می توان به افزایش با کاهش گلبول های سرخ خون بی برد. زیرا افزایش گلبول های سرخ خون باعث افزایش چگالی آن می شود. با اندازه گیری چگالی آلیاژی از طلا و مس می توان درصد جرم طلا و مس به کار رفته در آن را تعیین کرد. جدول ۱-۵ چگالی برخی مواد را نشان می دهد.

### جدول ۱-۵ - چگالی برخی مواد

چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	گازها*	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	مایع ها	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	جامد ها
۲۹۹۴	کلر (Cl <sub>2</sub> )	۱۳۵۹۰	جیوه	۲۲۶۵۰	ایزیدیم
۲۴۸۹	بوتان (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	۱۲۶۰	گلیسرین	۱۹۳۲۰	طلا
۲۲۷۹	گوگرد دی اکسید (SO <sub>2</sub> )	۱۰۵۰	خون	۱۱۳۴۰	سرب
۱۸۴۲	کربن دی اکسید (CO <sub>2</sub> )	۱۰۳۰	آب دریا	۱۰۴۹۰	نفره
۱۶۶	آرگون (Ar)	۱۰۰۰	(۴°C) آب	۸۹۳۰	مس
۱۴۶۵	کربن مونواکسید (CO)	۹۲۰	هوای مایع (-۱۹۴°C)	۸۴۰۰ - ۸۷۰۰	برنج
۱۱۶۵	نیتروژن (N <sub>2</sub> )	۸۰۰ - ۹۲۰	روغن زیتون	۷۸۵۰	آهن
۱۳۳۱	اکسیژن (O <sub>2</sub> )	۸۱۰	ازت مایع (-۱۹۶°C)	۷۲۸۰	قلع
۱۲۰۵	هوای	۷۹۰	اتانول (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	۷۱۳۰	روی
۰۶۶۸	متان (CH <sub>4</sub> )	۶۸۰	بنزین	۲۷۱۰	آلومینیم
۰۱۶۶	هليم (He)	۱۲۵	هليم مایع (-۲۶۹°C)	۲۳۰۰	سيمان
۰۰۸۴	هيدروژن (H <sub>2</sub> )			۹۲۰	پیخ
				۵۳۰	لیتیم
				۲۵۰ - ۱۰۰۰	چوب

\* گازها در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و فشار ۱ atm

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

ب) چگالی چند جسم جامد در دسترس مانند قاشق، تیله، وزنهای فلزی و ... را اندازه بگیرید. برای اندازه گیری حجم شکل‌های نامنظم می‌توانید از استوانه مدرج یا ظرف سرریز استفاده کنید. چگالی‌های به دست آمده را با مقادیر آنها در جدول ۱-۵ مقایسه کنید.

## مثال ۵-۳



جرم مجسمه‌ای برتری (آلیاژی از مس، قلع، روی و ...)  $kg = ۴۰$  و حجم آن  $m^3 = ۰/۰۵$  است. اگر چگالی برتر  $kg/m^3 = ۸۰۰$  باشد، حجم فضای خالی درون مجسمه چقدر است؟  
پاسخ:

حجم مقدار برنز استفاده شده برابر است با

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{۴۰}{۸۰۰} = ۰/۰۵ m^3$$

در نتیجه، حجم فضای خالی چنین می‌شود:

$$\text{حجم برنز} - \text{حجم مجسمه} = \text{حجم فضای خالی} \quad ۰/۰۴۵ m^3$$

الف) با استفاده از جدول ۱-۵ تعیین کنید چگالی هوا در حالت مایع چند برابر چگالی هوا در فشار  $1\text{ atm}$  و دمای  $20^\circ\text{C}$  است.

ب) با توجه به پاسخ قسمت الف فاصله مولکول‌های هوا در حالت گاز چند برابر آن در حالت مایع است?  
پ) قسمت‌های الف و ب را برای هلیم نیز انجام دهید.

الف) اگر برای اندازه گیری جرم جسمی ترازو در اختیار نداشته باشید، چگونه می‌توانید جرم آن را تعیین کنید؟  
ب) حجم داخل یک بطری را با روش‌های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

### ۳-۵ نیروهای بین مولکولی

در فعالیت ۲-۵ دیدیم که متراکم کردن بطری پلاستیکی پر از آب و درسته امکان پذیر نیست. به کمک نیروهای بین مولکولی می‌توان این پدیده را توجیه کرد. وقتی سعی می‌کنیم فاصله بین مولکول‌های مایع را کم کنیم نیروی دافعه شدیدی بین آنها ظاهر می‌شود که از تراکم پذیری مایع جلوگیری می‌کند. وقتی باران می‌بارد لایه‌ای از آب روی شاخه و برگ درختان می‌نشیند و با بزرگ شدن این لایه، قطره شدن آب مانند شکل ۵-۶-الف آغاز می‌شود. با افزایش مقدار آب و با سنگین تر شدن قطره آب شکل آن به صورت ۵-۶-ب در می‌آید و در آستانه سقوط قرار می‌گیرد. مولکول‌های آب روی سطح قطره از بقیه مولکول‌های آب روی شاخه کمی دور می‌شوند. در این حالت نیروی بین مولکولی به صورت جاذبه ظاهر می‌شود و در برابر نیروی وزن مقاومت می‌کند. این نیروی جاذبه بین مولکولی را **نیروی هم‌چسبی** می‌نامیم. با بزرگ‌تر شدن جرم قطره بالا خره نیروی وزن از نیروی هم‌چسبی مولکول‌ها بیشتر می‌شود و قطره به شکل کره سقوط می‌کند (شکل ۵-۶-پ).



(ب)



(ب)



(الف)

شکل ۵-۶- با سنگین تر شدن لایه آب، نیروی وزن بر نیروی هم‌چسبی غلبه می‌کند و آب شروع به چکیدن می‌کند.

از این دو مثال نتیجه می‌گیریم که مولکول‌های آب در شرایط عادی در وضعیت تعادل قرار دارند و وقتی آنها را کمی به هم تزدیک یا کمی از هم دور کنیم نیروهای دافعه یا جاذبه بین مولکول‌ها ظاهر می‌شود. این نیرو در جهتی است که مولکول‌ها را به وضعیت اولیه خود بازگرداند. نیروهای بین مولکولی کوتاه‌بُرد هستند، یعنی وقتی فاصله بین مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد. تراکم ناپذیری و خاصیت کشسانی اجسام جامد را نیز می‌توان به روش مشابهی با نیروهای بین مولکولی توجیه کرد.

#### فعالیت ۷

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

با توجه به نیروهای بین‌مولکولی بسیاری از پدیده‌ها از جمله کشش سطحی، ترشوندگی و موئینگی را می‌توان بررسی کرد:

**کشش سطحی:** پدیده‌های طبیعی فراوانی نشان می‌دهد که مولکول‌های سطح مایع‌ها تحت کشش

قرار دارند. این موضوع سبب می‌شود که سطح مایع مانند پوسته‌ای کشیده شده عمل کند. برخی از حشره‌ها می‌توانند روی سطح برکه‌ها راه بروند (شکل ۷-۵-الف). سوزنی که به‌دقت بر سطح آب قرار داده شود، روی آب شناور می‌ماند (شکل ۷-۵-ب). قطره‌های کوچک آب و حباب‌های صابون کروی‌شکل هستند (شکل ۷-۵-پ). همه این پدیده‌ها نشانه‌ای از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین‌مولکولی توضیح داد. در سطح مایع به دلیل تغییر از وضعیت مایع به بخار، فاصله مولکول‌ها از یکدیگر به‌طور متوسط بیشتر از فاصله مولکول‌های درون مایع است. بنابراین همان‌طور که پیشتر دیدیم با افزایش فاصله بین مولکول‌ها نیروهای بین‌مولکولی به صورت جاذبه ظاهر می‌شود و این باعث می‌شود که رفتار مولکول‌ها در سطح مایع چنان باشد که گویی سطح مایع تحت کشش قرار گرفته است.



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۷-۵-(الف) ایستادن حشره‌ها روی آب، (ب) قرار گرفتن سوزن روی آب و (پ) تشکیل حباب‌های صابون جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

#### فعالیت ۷-۱



- (الف) سعی کنید سوزن ته‌گرد یا گیره کاغذ را روی سطح آب شناور کنید.  
برای این منظور می‌توانید از دستمال کاغذی استفاده کنید.  
(ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره روی سطح آب، سطح آب را به‌دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.  
(پ) اکنون یک قطره صابون مایع را به آرامی به آب درون ظرف یافزاید.  
مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن بیابید.

**ترشوندگی:** دیدیم که نیروی هم‌چسبی بین‌مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها ظاهر می‌شود که به آن نیروی **دگرچسبی یا چسبندگی** می‌گوییم. هم‌چسبی و دگرچسبی هردو نیروهای بین‌مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که جاذبه، بین‌مولکول‌های مشابه باشد یا نامشابه.

هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گوییم مایع، جامد را **تر می‌کند**. مثلاً در شکل ۸-۵-الف می‌بینیم که آب سطح شیشه تمیز را تر کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گوییم مایع جامد را **تر نمی‌کند**. در شکل ۸-۵-ب می‌بینیم که سطح شیشه با جیوه تر نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است.



(ب) قطره‌های جیوه روی شیشه



(الف) پخش آب روی سطح شیشه

شکل ۸-۵-آ- شکل‌های پخش‌شدن آب روی شیشه تمیز و قطره‌ای شدن جیوه روی شیشه



پخش آب روی سطح شیشه چرب

#### فعالیت ۹-۵

سطح یک شیشه را با روغن چرب کنید و سپس روی آن چند قطره آب بریزید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ مشاهده خود را توجیه کنید و به کلاس گزارش دهید.

**مویینگی** : اگر چند لوله مویین شیشه‌ای و تمیز با قطره‌ای متفاوت را درون یک ظرف آب

قرار دهیم مشاهده می‌کنیم که :

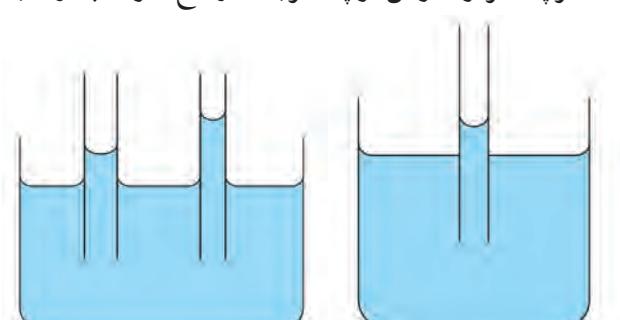
۱- آب در لوله‌های مویین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. (شکل

۹-۵-الف)

۲- هرچه قطر لوله مویین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. (شکل ۹-۵-ب)



(ب)



(ب)

(الف)

شکل ۹-۵- شکل آب در لوله‌های مویین

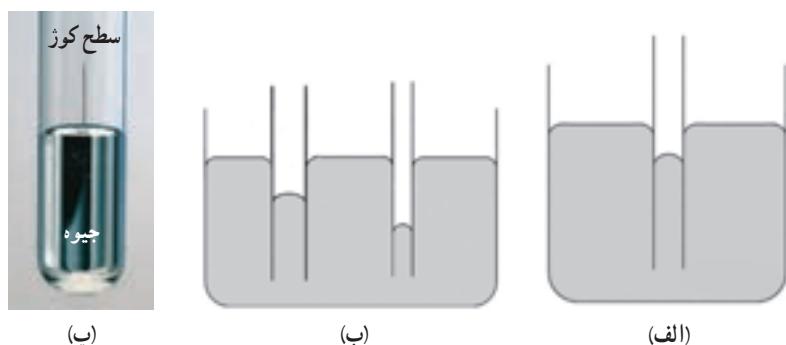
۳- سطح آب در بالای لوله موین فرورفته است. (شکل‌های ۹-۵)

اکون همین آزمایش‌ها را با جیوه انجام می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که:

۱- جیوه در لوله‌های موین مقداری بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه ظرف قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۱۰-الف)

۲- هرچه قطر لوله موین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است. (شکل ۵-۱۰-ب)

۳- سطح جیوه در لوله موین برآمده است (شکل‌های ۱۰-۵)



شکل ۵-۱۰- شکل جیوه در لوله‌های موین

در مورد آب نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه آب سطح شیشه را تر می‌کند و مانند شکل ۹-۵ در لوله بالا می‌رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های شیشه کمتر از نیروی هم‌چسبی بین خود مولکول‌های جیوه است. در نتیجه جیوه سطح شیشه را تر نمی‌کند و مانند شکل ۱۰-۵ سطح جیوه در لوله موین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

#### فعالیت ۹-۱

آزمایشی طراحی کنید که در آن سطح آب در لوله موین دارای برآمدگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف پایین‌تر باشد.

#### فعالیت ۹-۲

مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب موینگی آب را به درون خود می‌کشنند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را قیرانود می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود. تحقیق کنید در گذشته در ایران به جای قیرانود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

## بالارفتن آب از شاخ و برگ درختی بلند

چگونه آب و شیره گیاهی از ریشه یک درخت بزرگ به شاخ و برگ آن می‌رسد؟ پاسخ این پرسش ساده به نظر می‌رسد و با نگاهی ابتدایی می‌توان گفت بالا رفتن شیره گیاهی ناشی از اثر همزمان فشار اسمزی در ریشه و پدیده مویینگی در آوندهای درختان است. اما این پاسخ مدت‌ها است که به چالش کشیده شده است. در واقع پژوهشگران بر این باورند که آوند درختان آنقدر باریک نیست که بتواند براثر مویینگی آب و شیره گیاهی را تا چنان ارتفاع بلندی بالا بکشد. مدل دیگری که بیشتر مورد قبول پژوهشگران قرار گرفته است مدلی موسوم به **کشش - هم‌چسبی** است. بر مبنای این مدل، تبخیر آب از سطح برگ باعث کاهش فشار در ستون شاره‌ای می‌شود که از ریشه تا ساق و برگ گیاهان امتداد دارد. در واقع شیره گیاهی به صورت زنجیری بلند که ناشی از هم‌چسبی متقابل مولکول‌های شاره است، براثر این فشار منفی به بالا کشیده می‌شود. اما بر این مدل هم ایرادهایی وارد است و از جمله برخی پژوهشگران بر این باورند که هم‌چسبی مولکول‌های شاره به حدّی نیست که بتواند این فشار بالا را تاب بیاورد و این زنجیره در جایی گستته خواهد شد. برخی دیگر از پژوهشگران این احتمال را مطرح کرده‌اند که آب یا شیره گیاهی در چند مرحله به بالا کشیده می‌شود. در هر حال تاکنون این امکان به وجود نیامده است که این امر به طور دقیق از لحاظ آزمایشگاهی بازسازی و این پدیده از لحاظ نظری کاملاً درک شود.

## ۴-۵ فشار در شاره‌ها

شاید به هنگام شنا کردن در عمق یک استخر، فشار آب روی پرده‌گوش خود را حس کرده باشید. یا ممکن است هنگامی که سر شیر باز آبی را با انگشت خود گرفته‌اید متوجه فشاری شده باشید که آب بر انگشتتان وارد می‌آورد.

وقتی شاره (مایع یا گاز) ساکن باشد هر بخشی از شاره به بخش مجاور خود و نیز به هر سطحی که با آن در تماس است، مانند دیواره ظرف یا سطح جسم غوطه‌ور در شاره، نیروی عمودی وارد می‌کند. با اینکه شاره در کل ساکن است می‌دانیم که مولکول‌های آن در حرکت‌اند. در واقع نیروی که شاره وارد می‌کند ناشی از برخورد همین مولکول‌ها با اطراف خود است.

فشار متوسط،  $\bar{P}$ ، که به یک سطح فرضی درون شاره وارد می‌شود. به صورت نسبت اندازه نیروی عمودی وارد بر این سطح به مساحت آن سطح تعییف می‌شود:

$$\bar{P} = \frac{F}{A} \quad (2-5)$$

که در آن  $F$  نیروی عمودی از طرف شاره (بر حسب N) و A مساحت سطح فرضی (بر حسب  $m^2$ ) است. در SI یکای فشار پاسکال (Pa) است، به طوری که

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

یک زیر دریایی در عمق ۹۰۰ متری اقیانوس ساکن است. این زیردریایی پنجره‌ای به شکل دایره و به قطر  $5\text{ m}$  دارد. اگر فشار متوسط آب در محل پنجره  $9 \times 10^6 \text{ Pa}$  باشد نیرویی که آب بر سطح خارجی این پنجره وارد می‌کند چقدر است؟

**پاسخ:** مساحت پنجره برابر است با

$$A = \pi r^2 = \pi / 14 \times 25 = 2 \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$F = A P = 2 \times 9 \times 10^6 = 1.8 \times 10^7 \text{ N}$$



### ۵-۵ محاسبه فشار در مایع‌ها

پیش از آنکه به محاسبه فشار در مایع‌ها پردازیم، خوب است تجربه‌های زیر را در نظر بگیریم. در تجربه نخست، روی بدنه یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی دو سوراخ هم ارتفاع و همان‌دمازه ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۱-۵-الف). در حالی که سوراخ‌ها را بسته‌ایم، ظرف را پر از آب می‌کنیم. اکنون یکی از سوراخ‌های را باز می‌کنیم و سرعت خروج آب از آن را اندازه می‌گیریم. باز دیگر ظرف را پر از آب می‌کنیم و این اندازه گیری را برای سوراخ دیگر انجام می‌دهیم. از این تجربه در می‌یابیم سرعت خروج آب از سوراخ‌های همان ارتفاع یکسان است.



(الف) استوانه‌ای با دو سوراخ همتراز



(ب) استوانه‌ای با سه سوراخ غیر همتراز

شکل ۱۱-۵

در تجربه‌ای دیگر، روی بدنه همان ظرف سه سوراخ همان‌دمازه در ارتفاع‌های متفاوت ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۱-۵-ب). سوراخ‌های را می‌بندیم و ظرف را پر از آب می‌کنیم. سپس یکی از سوراخ‌ها را باز می‌کنیم و سرعت خروج آب از آن را اندازه می‌گیریم. با تکرار این تجربه در مورد سوراخ‌های دیگر در می‌یابیم که سرعت خروج آب از سوراخ‌های پایین‌تر بیشتر است.

از این تجربه‌ها در می‌یابیم که اولاً مایع بر دیواره ظرف خود فشار وارد می‌آورد، دوم آنکه این فشار در نقاط همتراز، یکسان است. ولی در نقاط با ارتفاع متفاوت، یکسان نیست و با افزایش عمق (نسبت به سطح آزاد) فشار بیشتر می‌شود. و سوم اینکه مایع عمود بر دیواره ظرف خارج می‌شود. یکسان بودن فشار در نقاط همتراز شاره ساکن را می‌توان از قوانین نیوتون نیز نتیجه گرفت. در اینجا می‌خواهیم با به کار بردن قوانین نیوتون بستگی فشار مایع به عمق آن را بدست آوریم. به این منظور، شکل ۱۲-۵ را بینید. در شکل، بخشی از مایع ساکن را که بین دو سطح هاشور خورده قرار دارد را در نظر بگیرید. برای نیروهای قائم وارد بر این بخش از مایع صفر است و بنابراین از قانون دوم نیوتون در راستای قائم داریم :

$$F_2 = F_1 + mg$$

یا

$$P_2 A = P_1 A + mg$$

که در آن  $P_1$  و  $P_2$  به ترتیب فشار در سطوح‌های ۱ و ۲،  $A$  مساحت این دو سطح، و  $m$  جرم مایعی است که بین دو سطح موردنظر قرار دارد. بدیهی است که حجم این مایع برابر است با

$$V = Ah$$

با توجه به رابطه  $\rho = \frac{m}{V}$  که در آن  $\rho$  چگالی مایع است، داریم  
 $m = \rho V = \rho Ah$

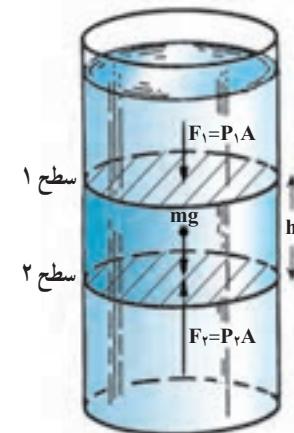
$$P_r A = P_1 A + (\rho Ah)g$$

بنابراین می‌توان نوشت:

واز آنجا

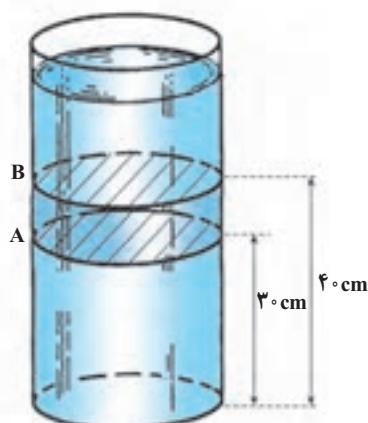
$$P_r = P_1 + \rho g h$$

(۳-۵)



شکل ۱۲-۵ - نیروی فشار وارد بر قاعده بالایی و نیروی فشار وارد بر قاعده پایینی با نیروی گرانی وارد بر حجم محصور موازن می‌شود.

### مثال ۱۲-۶



- الف) در یک ظرف استوانه‌ای بلند، مطابق شکل مقداری آب می‌ریزیم.  
 اختلاف فشار بین دو سطحی که با A و B مشخص شده‌اند را بدست آورید.  
 ب) اگر در ظرف به جای آب، روغن مایعی با چگالی  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  بربازیم  
 اختلاف فشار این دو سطح چقدر می‌شود؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

**پاسخ:**

- الف) با توجه به رابطه ۳-۵ و با مراجعه به جدول ۱-۵ اختلاف فشار دو سطح را محاسبه می‌کنیم:

$$P_r = P_1 + \rho g h \Rightarrow \Delta P = \rho g h = 1000 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ Pa}$$

ب) اختلاف فشار بین دو سطح برابر است با

$$\Delta P = \rho g h = 900 \times 10 \times 10 = 900 \text{ Pa}$$

**فشار هوا:** اگر در رابطه ۳-۵ سطح ۱ را سطح آزاد مایع درنظر بگیریم فشار در آن سطح برابر با فشار هوا است که معمولاً آن را با  $P_0$  نمایش می‌دهیم. اگر فشار در عمق  $h$  را به جای  $P_0$  با  $P_2$  نمایش دهیم می‌توانیم رابطه ۳-۵ را به صورت زیر بنویسیم:

$$P = P_0 + \rho g h$$

(۴-۵)

فشاری که هوا بر سطح آزاد مایع وارد می‌کند، ناشی از برخورد مولکول‌های هوا با سطح آزاد مایع است. همان‌طور که خواهیم دید مقدار متوسط این فشار در سطح دریای آزاد، حدود  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  است و به آن ۱ atm نیز می‌گویند. با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار و چگالی هوا کاهش می‌یابد. برای درک بهتر فشار هوا فعالیت زیر را انجام دهید.

## فعالیت ۵-۱۳

داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آب جوش بریزید و در آن را محکم بینید. سپس آب سرد روی آن بریزید. مشاهده خود را به کلاس گزارش کنید و علت را در کلاس به بحث بگذارید.

## مثال ۵-۷

در عمق ۱۰ متری یک دریاچه فشار چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را  $1 \text{ atm}$  بگیرید.

**پاسخ:**

با توجه به رابطه ۴-۵ و مراجعه به جدول ۱-۵ فشار در عمق  $h$  را محاسبه می‌کنیم.

$$P = P_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 + 1000 \times 9.8 \times 10 = 1.0199 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.0199 \text{ atm}$$

## مثال ۵-۸

در یک لوله U شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخه سمت راست آنقدر آب می‌ریزیم تا ارتفاع آب به  $54/4 \text{ cm}$  برسد (شکل روبرو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی‌متر است؟

**پاسخ:** نقاط A و B هر دو در جیوه هستند، هم‌ترازند و شاره نیز ساکن است. بنابراین

$$P_A = P_B$$

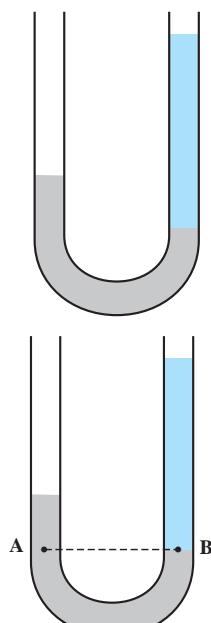
در نتیجه

$$P_0 + \rho_{\text{جيوه}} gh_{\text{جيوه}} = P_0 + \rho_{\text{آب}} gh_{\text{آب}}$$

$$\rho_{\text{جيوه}} h_{\text{جيوه}} = \rho_{\text{آب}} h_{\text{آب}}$$

$$13/6 \times h_{\text{جيوه}} = 1 \times 54/4$$

$$h_{\text{جيوه}} = 4 \text{ cm}$$



که در آن از چگالی‌های جیوه و آب که در جدول ۱-۵ داده شده است استفاده کردیم.

رابطه ۳-۵ را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. مثلاً می‌توان اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است در محفظه‌های کوچک گاز که ارتفاع آنها کم است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه می‌توان برای گاز را در تمام نقاط گاز یکسان گرفت.

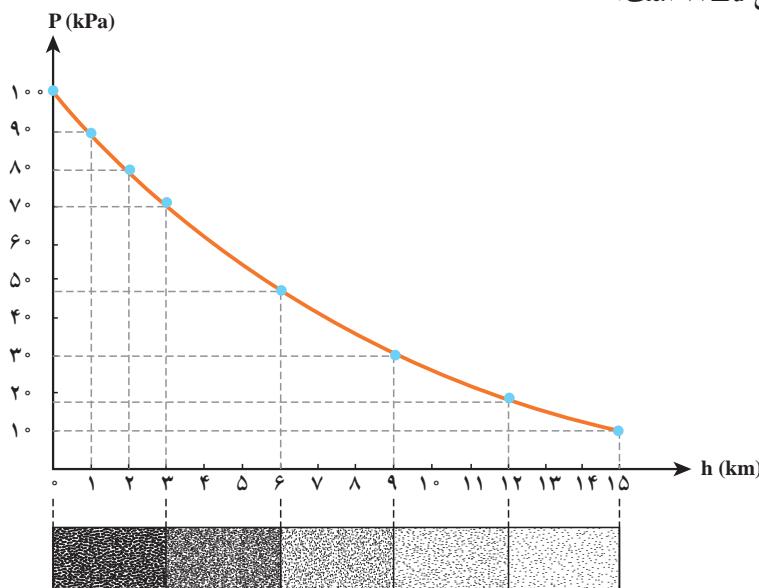


چگالی هوای تهران در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  تقریباً  $1.0\text{ kg/m}^3$  است. اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع  $45\text{ m}$ ، چقدر است؟

پاسخ :

$$P_t = P_b + \rho gh \Rightarrow P_t - P_b = \rho gh = 1.0 \times 9.8 \times 45 = 440 \text{ Pa}$$

توجه کنید برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، نمی‌توان از رابطه ۱۳-۵ استفاده کرد. زیرا با افزایش زیاد ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا به شدت کاهش می‌باید. محاسبه دقیق نشان می‌دهد تغییر فشار بر حسب ارتفاع از سطح زمین مطابق نمودار شکل ۱۳-۵ است.



شکل ۱۳-۵ نمودار فشار هوای بر حسب ارتفاع از سطح دریای آزاد. نوار زیر محور افقی تغییر چگالی هوای با هوا فشرده‌تر که چگالی بیشتری دارند. تیره‌تر نشان داده شده‌اند.

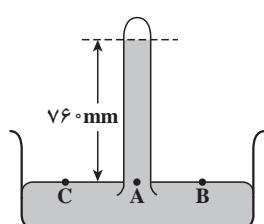
**آزمایش توریچلی** : آزمایش زیر را توریچلی<sup>۱</sup> (۱۶۴۷-۱۶۴۸) فیزیکدان ایتالیایی در سال ۱۶۴۳ میلادی پیشنهاد کرد. در این آزمایش لوله آزمایشی شیشه‌ای به طول حدود  $1\text{ m}$  را با جیوه پر می‌کنند و آنگاه انتهای باز لوله را با انگشت می‌بندند و سپس آن را در تشت پر از جیوه به طور قائم وارونه می‌کنند<sup>۲</sup>. با برداشتن انگشت ستون جیوه در لوله مقداری پایین می‌آید. اگر آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود ارتفاع ستون جیوه از سطح جیوه در شرایط طبیعی در حدود  $760\text{ mm}$  می‌شود

۱—Evangelista Torricelli

۲—چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است، ممکن است جذب پوست یا مخاط تنفسی شود. لذا از انجام این آزمایش توسط دانشآموزان خودداری شود.

(شکل ۱۴-۵). اگر آزمایش در محلی بالاتر از سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد بود. اکنون می‌توانیم فشار هوای در محل انجام آزمایش را تعیین کنیم.

قبل‌آیدیم فشار در نقاط همتراز شاره ساکن، یکسان است. بنابراین



شکل ۱۴-۵- طرحی از آزمایش توریچلی

$$P_A = P_B = P_C$$

از طرفی می‌دانیم، فشار نقطه‌های B و C همان فشار جو است:

$$P_B = P_C = P_{\text{atm}}$$

و فشار در نقطه A برابر است با

$$P_A = \rho gh + P_{\text{atm}}$$

فشار فضای بالای لوله، که اصطلاحاً به آن خالٌ توریچلی گفته می‌شود، تقریباً صفر است (در این فضا، بخار جیوه با فشاری بسیار کم وجود دارد که قابل چشم‌پوشی است). بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$P_A = \rho gh$$

و یا

$$P_{\text{atm}} = \rho gh$$

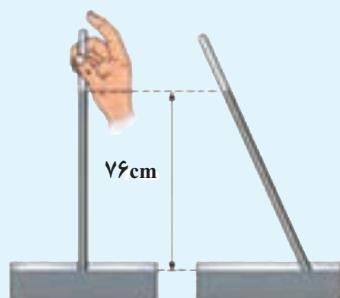
یعنی فشار هوای در محل انجام آزمایش برابر است با  $\rho gh$  که در آن h ارتفاع ستون جیوه درون لوله آزمایش توریچلی است. بنابراین می‌توان از آزمایش توریچلی برای اندازه‌گیری فشار جو استفاده کرد. براساس این آزمایش دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار جو طراحی و ساخته شده‌اند که به آنها جوسنج یا **بارومتر**<sup>۱</sup> گفته می‌شود.

با استفاده از جدول ۱-۵ فشار هوای در سطح دریای آزاد چنین می‌شود:

$$P_{\text{atm}} = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times \frac{76}{100} = 101000 \text{ Pa}$$

همان‌طور که قبل‌آیدید به این مقدار فشار، ۱ atm می‌گویند. در نتیجه، فشار هوای در سطح دریای آزاد برابر با  $101000 \text{ Pa}$  یا  $1 \text{ atm}$  است. متدالون است که به جای محاسبه  $\rho gh$  فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (معمولًاً بر حسب میلی‌متر) بیان می‌کنند. بنابراین فشار هوای در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه (mmHg) است. به افتخار توریچلی ۱ torr نیز گفته می‌شود.

### فعالیت ۱۴-۳



- الف) اگر در آزمایش توریچلی لوله را از وضعیت قائم اندازی کج کنید، سطح جیوه در لوله بالا می‌رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی‌کند. علت را توضیح دهید.
- ب) برای لوله غیرموین، اگر سطح مقطع لوله تغییر کند، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند. علت را توضیح دهید.
- پ) چرا توریچلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟

### فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)<sup>۱</sup>

به عنوان فشار یک شاره بیان می‌شود، در واقع اختلاف فشار شاره مورد نظر با فشار هوای محیط است. مثلاً وقتی فشار خون یک بیمار ۱۲ (یعنی  $12^{\circ}$  mmHg) بیان می‌شود (شکل ۱۵-۵) در واقع به این معنی است که فشار خون بیمار  $12^{\circ}$  mmHg بیشتر از فشار هوای است  $2/2\text{ atm}$  یا وقتی می‌گویند فشار هوای درون لاستیک یک خودرو است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک،  $2/2\text{ atm}$  از فشار هوای بیرون بیشتر است. به این اختلاف فشار، **فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)**

می‌گوییم و آن را با **فشارسنج** یا **مانومتر**<sup>۲</sup> اندازه می‌گیریم:  
 $P_g = P - P_{\text{atm}}$

که در آن،  $P$  فشار شاره و  $P_{\text{atm}}$  فشار هوای محیط است.

یکی از انواع متداول فشارسنج‌ها، فشارسنج U شکل است (شکل ۱۶-۵). لوله فشارسنج U شکل، حاوی مایع مانند جیوه، آب یا مایع دیگری با چگالی مشخص  $\rho$  است. برای اندازه‌گیری فشار گاز درون یک محفظه، آن را از یک طرف به دهانه لوله وصل می‌کنند. اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوای سبب می‌شود که سطح مایع در دو شاخه یکسان نباشد. از این اختلاف سطح می‌توان برای اندازه‌گیری اختلاف فشار گاز درون محفظه ( $P$ ) و فشار هوای محیط ( $P_{\text{atm}}$ ) استفاده کرد.

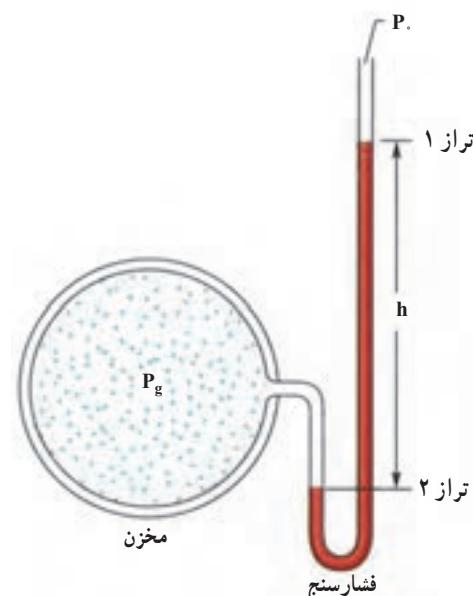
$$P_{\text{atm}} = \rho gh$$

$$P_{\text{atm}} = \rho gh \quad (5-5)$$

با دانستن چگالی مایع ( $\rho$ )، شتاب جاذبه ( $g$ ) و اندازه‌گیری ارتفاع  $h$ ،  $P_{\text{atm}}$  که همان فشار پیمانه‌ای گاز درون محفظه است، تعیین می‌شود. توجه کنید که هرچند در اغلب موارد  $P_{\text{atm}}$  کمیتی مثبت است ولی می‌توان حالت‌هایی را یافت که برای آنها  $P_{\text{atm}}$  مقداری منفی است. در واقع فشار پیمانه‌ای بسته به اینکه  $P > P_{\text{atm}}$  یا  $P < P_{\text{atm}}$  می‌تواند مثبت یا منفی باشد.



شکل ۱۵-۵— دستگاه فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار خون



شکل ۱۶-۵— برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای گاز در مخزن، لوله U شکل حاوی مایع قرمز که به جوراه دارد به مخزن متصل شده است.

### فعالیت ۵-۱۴

با استفاده از یک شیلنگ بلاستیکی شفاف و نرم، خطکش و مقداری آب رنگی فشارسنج U شکلی سازید. پیستون سرنگ  $5^{\circ} \text{ cc}$  را تانیمه بیرون بکشید و سر آن را به لوله فشارسنج وصل کنید. با جابه‌جا کردن پیستون، هر بار فشار پیمانه‌ای هوای درون سرنگ را اندازه‌گیرید. در مورد مثبت یا منفی بودن سرنگ بحث کنید.

## آزمایش ۱-۱

وسایل لازم:

قیف، پوسته کشسان، سطل پراز آب، لوله U شکل و شیلنگ شفاف

شرح آزمایش:

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

۲- در لوله U شکل مقداری آب رنگی بریزید.

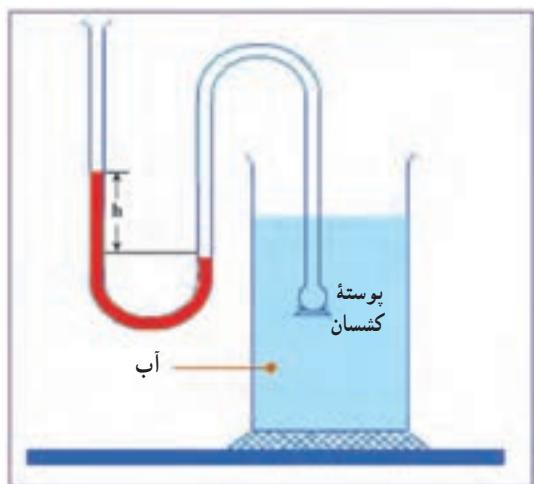
۳- به دهانه قیف، پوسته‌ای کشسان مانند بادکنک را وصل کنید.

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

الف) چگونگی بستگی فشار به عمق

ب) یکسان بودن فشار در نقاط هم عمق

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



از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که فشار وارد بر پوسته به جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به مکانی واپسی است که پوسته در آن قرار دارد. یعنی در یک عمق معین فشار وارد بر پوسته در وضعیت افقی و قائم پوسته یکسان است.

## مثال ۹-۵

فرض کنید در شکل ۱۶-۵ مایع درون لوله جیوه و اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه ۱۲ cm است.

الف) فشار پیمانه‌ای گاز درون محفظه چند میلی متر جیوه است؟

ب) اگر فشار هوا ۷۵° mmHg باشد، فشار گاز درون محفظه چند میلی متر جیوه است؟

پاسخ:

(الف)

$$P_g = P - P_0 = \rho gh$$

همان‌طور که پیشتر گفته شد معمولاً به جای محاسبه  $\rho gh$ ، فشار بر حسب ارتفاع ستون جیوه بیان می‌شود. بنابراین

$$P_g = 12 \text{ cmHg} = 12 \text{ mmHg}$$

$$P_g = P - P_0 \Rightarrow 12 = P - 75 \Rightarrow P = 87 \text{ mmHg}$$

(ب)

## فعالیت ۹-۱۰

در مورد انواع دیگر فشارسنج‌ها تحقیق کنید و چگونگی کارکرد آنها را به کلاس گزارش دهید.

**اصل پاسکال:** معمولاً برای استفاده از خمیردنان، لوله پر خمیردنان را فشار می‌دهیم تا خمیر از دهانه لوله خارج شود (شکل ۱۷-۵). هرگاه پیستون سرنگ پر از مایع را فشار دهیم، مایع از نوک سوزن با فشار خارج می‌شود و هرچه فشار وارد بر پیستون را بیشتر کنیم، مایع از نوک سوزن با فشار بیشتری خارج می‌شود.

مطابق شکل ۱۸-۵ ظرفی استوانه‌ای و پر از مایع به چگالی  $\rho$  را درنظر بگیرید که با پیستونی مسدود شده است. روی پیستون گلوله‌های سربی قرار می‌دهیم. فشار ناشی از جو، وزن پیستون و وزن گلوله‌ها را در نقطه (۱) با  $P_1$  نشان می‌دهیم. می‌دانیم که فشار در عمق دلخواه  $h$  از این طرف به اندازه  $\rho gh$  بیشتر از نقطه (۱) است:

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

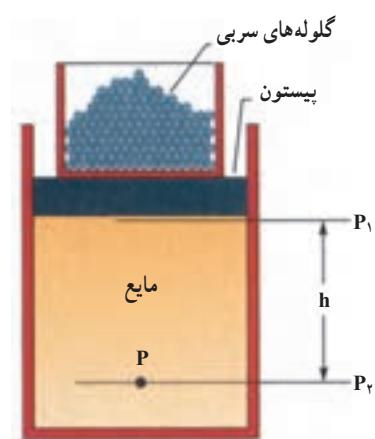
حال اگر مقدار گلوله‌های روی پیستون را تغییر دهیم مقدار  $P_1$  نیز تغییر می‌کند. با توجه به تراکم ناپذیری مایع و ثابت ماندن مقدار  $\rho gh$ ،  $P_2$  نیز به اندازه  $P_1$  تغییر خواهد کرد. یعنی تغییر فشار این دو نقطه یکسان است و به ارتفاع  $h$  بستگی ندارد.

بلیز پاسکال<sup>۱</sup>، دانشمند فرانسوی، این موضوع را برای اولین بار بررسی کرد و نتیجه تحقیقات خود را در سال ۱۶۵۲ میلادی به چاپ رساند. این نتیجه امروزه به عنوان **اصل پاسکال** معروف است و چنین بیان می‌شود:

هر تغییری در فشار وارد بر هر شاره‌تر اکثراً ناپذیر و محبوس، بدون هیچ کم و زیاد به تمام بخش‌های شاره و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.



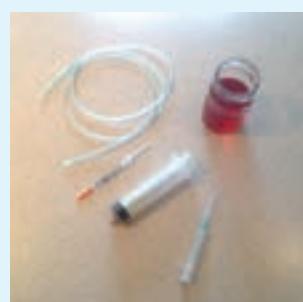
شکل ۱۷-۵ وقتی لوله خمیر دندان را فشار می‌دهید، اصل پاسکال را مشاهده می‌کنید.

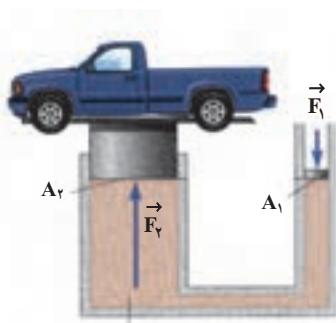


شکل ۱۸-۵- با تغییر فشار خارجی  $P_1$ ، با توجه به تراکم ناپذیری مایع، فشار در همه نقاط داخل مایع نیز به همان اندازه تغییر می‌کند.

## فعالیت ۱۴

یک سرنگ کوچک (مثل سرنگ انسولین)، لوله لاستیکی سرم یا آکواریوم به طول حدود ۵۰ cm، یک سرنگ بزرگتر ۵۰ cc (و یا با حجم بیشتر) و مقداری آب رنگی آماده کنید. در سرنگ بزرگ تا حدود ۲۰ cc آب بکشید و سرنگ انسولین را پر از آب کنید. لوله لاستیکی پر از آب را از یک سربه سرنگ بزرگ و از سر دیگر به سرنگ انسولین وصل کنید. توجه داشته باشید که در سرنگ‌ها یا لوله نباید حباب هوا باشد. با هر دست خود بر یکی از پیستون‌ها نیرو وارد و تفاوت بزرگی نیروها را تجربه کنید.





شکل ۱۹-۵- طرح ساده‌ای از یک بالابر هیدرولیکی



بلیز پاسکال

ریاضیدان، فیزیکدان، مخترع و فیلسوف فرانسوی در ۱۹ ژوئن ۱۶۲۳م. (۱۰۰۲ه.ش) در فرانسه به دنیا آمد. او کودکی نابغه بود که تمام تحصیلات خود را زیر نظر پدرش به انجام رسانید و در هیچ داشتگاهی به طور آکادمیک تحصیل نکرد. او در سال ۱۶۴۵ در حالی که فقط ۲۲ سال داشت نخستین ماشین حساب مکانیکی را پس از ۳ سال تلاش شبانه‌روزی اختراع کرد. این ماشین‌ها به حسابگرهای پاسکال مشهور شد. پاسکال یکی از مهم‌ترین ریاضی‌دانان تاریخ بود که در دو شاخه تحقیقاتی جدید در ریاضیات، هندسه تصویری و نظریه احتمالات نقشی اساسی بازی کرد. او همچنین در علوم طبیعی و کاربردی نیز یکی از سرآمدان دوران خود بود و با تعمیم کار توریچی نقشی مهم در تبیین مفاهیم علم شاره‌ها از جمله در تبیین مفاهیم فشار شاره و خلاً داشت. او در پایان عمر، مطالعات خود را بر روی فلسفه متمرکز کرد و در حالی که فقط ۳۹ سال داشت در ۱۹ آگوست ۱۶۶۲م. (۱۰۴۱ه.ش) در پاریس درگذشت.

**بالا بر هیدرولیکی :** بالابرها هیدرولیکی براساس اصل پاسکال طراحی می‌شوند. از این دستگاه برای بالا بردن اجسام سنگین مانند خودرو (برای تعویض چرخ‌ها یا تعمیر آنها) استفاده می‌شود. طرح ساده‌ای از این بالابر در شکل ۱۹-۵ نشان داده شده است.

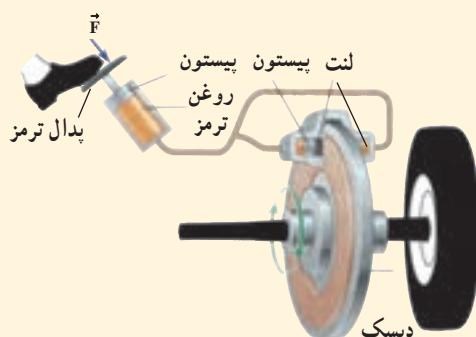
به طور معمول و بدون آنکه وسیله‌ای روی بالابر قرار گیرد، فشار در محل پیستون‌های کوچک و بزرگ به ترتیب  $P_1$  و  $P_2$  است. با قرار گرفتن هر چیز سنگینی مانند خودرو روی پیستون بزرگ، فشار این پیستون به اندازه  $\frac{F_2}{A_2}$  افزایش می‌یابد (در این حالت برابر با وزن خودرو است). اگر مایع در تعادل باشد، طبق اصل پاسکال، در محل پیستون کوچک هم به همان اندازه افزایش فشار خواهیم داشت. برای آنکه پیستون کوچک در تعادل بماند، باید نیروی وارد بر آن به اندازه  $F_1$  افزایش یابد، طوری که تغییر فشار در محل پیستون‌ها با هم برابر باشد، در نتیجه :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (۶-۵)$$

از این دستگاه علاوه بر بالا بردن اجسام، برای پرس یا خرد کردن نیز استفاده می‌شود.

### تمرین ۶-۵

شکل زیر طرح واره ساده‌ای از دستگاه ترمز خودرویی را نشان می‌دهد. با استفاده از اصل پاسکال توضیح دهید که این دستگاه چگونه کار می‌کند.

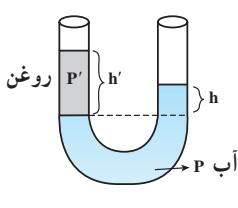


## پرسش‌های فصل پنجم

- 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 قطعه‌ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۳ چرا موهای خیس به هم فشرده می‌شوند؟
- ۴ وزن  $1\text{ m}^3$  شن تقریباً سه برابر وزن  $1\text{ m}^3$  آب است. چرا بادهای نسبتاً ضعیف توده‌های شن را در صحراء به حرکت درمی‌آورند، حال آنکه براثر یک توفان حتی شدید فقط یک مقدار مختصر آب دریا به سمت بالا پاشیده می‌شود؟
- ۵ رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است، اما می‌توان نشان داد که تا ارتفاع  $2000$  متری از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر  $1\text{ m}$ ، یک میلی متر جیوه کاهش می‌یابد. با این اطلاعات فشار هوا را در محل زندگی خود برآورد کنید.
- ۶ چرا تنفس یک شناگر با لوله‌ای بلند که تا سطح آب ادامه دارد می‌تواند به شدت خطر آفرین باشد؟

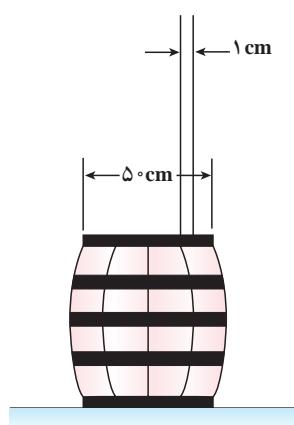
## مسائل فصل پنجم

- ۱ تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است؟ اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می‌کند؟ (از جدول  $1-5$  استفاده کنید).
- ۲ در چه عمقی از دریا فشار  $10$  برابر فشار جو در سطح دریا است؟ (چگالی آب دریا را  $115\text{ kg/m}^3$  فرض کنید).
- ۳ اختلاف فشار ناشی از اختلاف ارتفاع بین مغز و پای شخصی به بلندی  $1/83\text{ m}$  چقدر است؟ چگالی خون  $1.06 \times 10^3\text{ kg/m}^3$  است.
- ۴ برای نوشیدن آب به چگالی  $1000\text{ kg/m}^3$  با استفاده از نی، تا ارتفاع بیشینه  $10\text{ cm}$ ، اختلاف فشار هوای درون دهان با فشار هوای بیرون که باید ایجاد کنیم چقدر است؟
- ۵ طول و عرض و ارتفاع یک اتاق  $4/2\text{ m}$ ،  $3/5\text{ m}$  و  $2/4\text{ m}$  است.  
 الف) وزن هوای درون اتاق در فشار  $1\text{ atm}$  و دمای  $0^\circ\text{C}$  چقدر است?  
 ب) نیروی وارد از هوای داخل اتاق بر کف آن چقدر است؟
- ۶ در یک ظرف لوله U شکلی حاوی آب، مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته ایم.  
 الف) نشان دهید:

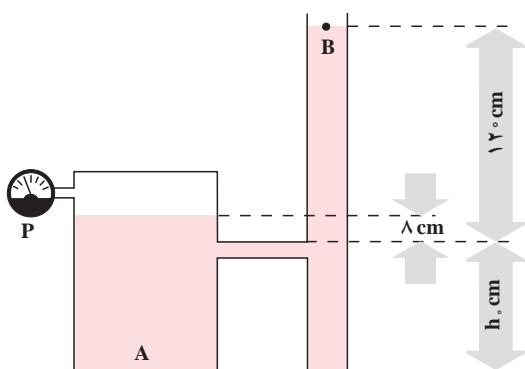


$$\frac{h'}{h} = \frac{\rho}{\rho'}$$

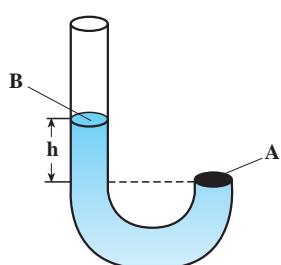
که در آن  $\rho'$  چگالی روغن و  $\rho$  چگالی آب و  $h'$  ارتفاع ستون روغن است.  
 ب) چگونه می‌توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.



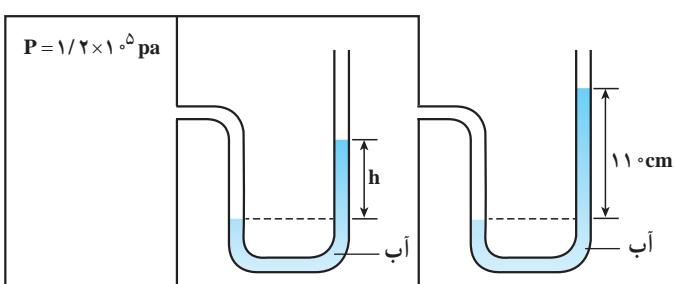
- ۷ آزمایش شکل رو به رو را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به بشکه‌ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به  $\frac{15}{3}$  متر رسید درپوش بشکه رهاشد. اگر قطر درپوش  $5\text{ cm}$  باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله  $1\text{ cm}$  است.



- ۸ اگر در مخزن شکل رو به رو آب بریزیم، وقتی سطح مایع از  $h$  بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A بالاتر از  $h$  باشد، در ظرف B بالاتر از  $h$  باشد:  
 الف) فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (توجه کنید که فشارسنج، فشار یمانه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند).  
 ب) فشار کل گاز محبوس چقدر است؟



- ۹ در شکل رو به رو 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.  
 الف) فشار مایع در A چقدر است?  
 ب) اگر شعاع لوله  $r$  باشد، چه نیرویی از طرف مایع به درپوش A وارد می‌شود؟



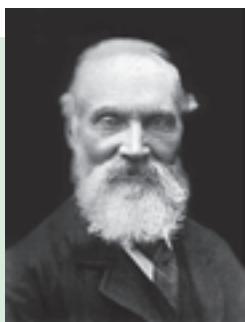
- ۱۰ در شکل رو به رو مقدار  $h$  چند سانتی‌متر است؟ فشار هوا را  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  و چگالی آب را  $1 \text{ g/cm}^3$  بگیرید.

# ۶

## گرما و قانون گازها

کویر لوت با دمای بیشینه‌ای در  
محدود  $70^{\circ}\text{C}$  در (وزهای آفتابی  
یکی از گردهای نقااط جهان است.





ویلیام تامسون کلوین<sup>۱</sup> ریاضیدان، فیزیکدان و مهندس بریتانیایی در ۲۸ ژوئن ۱۸۲۴ م. (۱۲۰۳ ه.ش) در شهر بلفاست ایرلند به دنیا آمد. او تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه گلاسکو به انجام رسانید و در این دوران، غیر از اختراقات مختلف، کارهای مهمی در تحلیل ریاضی وار الکتریسیته و نیز فرمول بندی قوانین اول و دوم ترمودینامیک انجام داد و نقشی مهم در احیای رشته فیزیک در عصر مدرن ایفا کرد. با این حال، عمدۀ شهرت کلوین به خاطر تعیین دقیق صفر مطلق برابر با  $273/15^{\circ}\text{C}$  است و این در حالی است که پیش از او سلسی کارنوی فرانسوی در سال ۱۸۲۴، یعنی همان سالی که کلوین زاده شد، مقدار  $-267$  را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلوین، به اسم او نامگذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لرد کلوین ملقب شد و اولین داشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لُرد‌هارا راه یافتد. کلوین در ۱۷ دسامبر ۱۹۰۷ م. (۱۲۸۶ ه.ش) در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

چرا پارچه خیسی که روی بندی پهن شده است، ساعتی بعد خشک می‌شود؟ چگونه بادهای ساحلی به وجود می‌آیند؟ چگونه شیشه‌های دوجداره مانع از ائتلاف گرمای شوند؟ چگونه با اسپری کردن باغ‌های میوه می‌توان از بخزدن آنها در شب‌های سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل‌ها به صورت بخش‌هایی مجرزا ساخته می‌شوند که فاصله کمی بین آنها وجود دارد؟ پالتوها چگونه ما را از سرما محافظت می‌کنند؟ چگونه موهای خرس‌های قطبی می‌توانند آنها را از سرمای کشنده قطب در امان نگه دارد؟ چگونه قندیل‌های بخش گسترش می‌یابند؟

پاسخ این پرسش‌ها و بسیاری از پرسش‌های مشابه را می‌توان با بررسی گرما و اثرهای آن به دست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم‌های فیزیکی دما و گرمای آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم‌ها به بررسی روش گرما‌سنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای ذوب و تبخیر می‌پردازیم. علاوه بر این، اثر تغییر دما بر طول یا حجم جامد‌ها، مایع‌ها و گازها را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرمای مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را به طور مختصر بررسی می‌کنیم.

## ۱- دما، انرژی درونی و گرمای

**دما** از دیدگاه میکروسکوپی به انرژی جنبشی مولکول‌های ماده بستگی دارد ولی این ارتباط بسیار پیچیده است و از این‌رو شاید شروع خوبی برای تعریف دما نباشد. در این کتاب، دما را از دیدگاه ماکروسکوپی بررسی می‌کنیم. از این دیدگاه، دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند. به این منظور لازم است یک مقیاس دمایی به وجود آوریم و برای این کار می‌توان از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری ای بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند که به آن **کمیت دما‌سنجی** می‌گوییم.

### فعالیت ۱-۷

در فصل ۱ گفتیم برای آنکه تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید **یکای آن و نیز روش و ابزار اندازه‌گیری آن** مشخص شود. دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی در مورد ابزار و روش اندازه‌گیری آن توضیح دهید و یکای آن را مشخص کنید. (برای این کار می‌توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید).

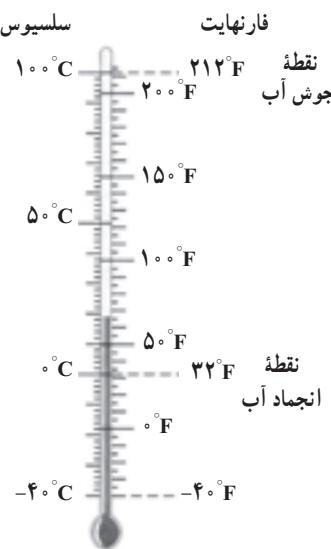
**مقیاس‌های دما:** یکای متداول دما درجه سلسیوس است که با نماد  $^{\circ}\text{C}$  نمایش داده می‌شود.

دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با  ${}^{\circ}$  نشان می‌دهند.

در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین را به کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می‌دهند. رابطه میان دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین به صورت زیر است:

$$T = \theta + 273 \quad (1-6)$$

با این رابطه  $-1^{\circ}\text{C}$ ، صفر کلوین برابر  $-273^{\circ}\text{K}$  است.<sup>۱</sup> یکای رایج دیگر دما، فارنهایت است که امروزه در صنعت کاربرد فراوانی دارد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶— مقایسه یکاهای سلسیوس و فارنهایت

دماهای ذوب یخ،  $0^{\circ}\text{C}$ ، دماهای جوش آب،  $100^{\circ}\text{C}$  و دماهای بدن انسان سالم،  $37^{\circ}\text{C}$  است.

هر یک از این دماها برابر چند کلوین و چند درجه فارنهایت است؟

$$\theta = \frac{9}{5}T + 32$$

## مثال ۱-۷

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

پاسخ:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_2 - T_1 \\ &= (\theta_2 + 273) - (\theta_1 + 273) \\ &= \theta_2 - \theta_1 \end{aligned}$$

در نتیجه:

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

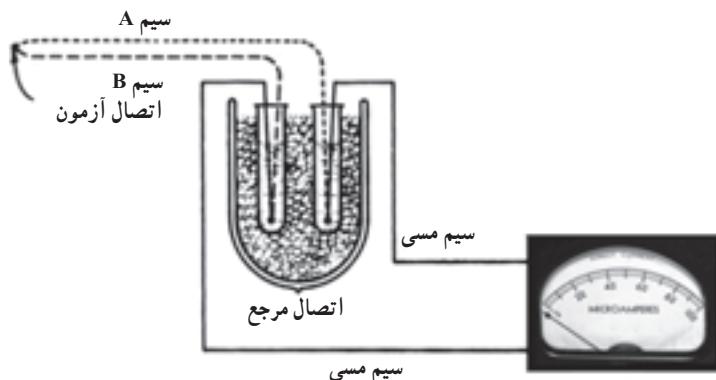
**دماستنجی:** همان‌طور که پیش تر گفته شد دماستنجی از هر خاصیت قابل اندازه‌گیری استفاده

می‌کنیم که با گرمی و سردی جسم تعییر می‌کند. مثلاً در دماستنج‌های جیوه‌ای یا الکلی که در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت، کمیت دماستنجی ارتفاع مایع درون لوله دماستنج است. دماستنج ترموموکوپل (شکل ۲-۶) نمونه دیگری از دماستنج‌های است که کمیت دماستنجی در آن جریان الکتریکی است.

مطابق شکل ۲-۶ دو سیم فلزی غیرهمجنس A و B از طرفی در دماهای ذوب یخ نگه داشته شده‌اند و از طرف دیگر در مکانی به هم متصل شده‌اند که می‌خواهیم دماهی مجھوں آن را بدست آوریم. این مجموعه شامل دو اتصال با سیم‌های مسی رابط است که به یک آمپرسنج یا گالوانومتر بسته می‌شود. با افزایش دماهای مورد اندازه‌گیری، شدت جریان در مدار بیشتر می‌شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای

۱— صفر کلوین به طور دقیق برابر  $15^{\circ}\text{C}$  است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی  $-273^{\circ}\text{C}$  مناسب است.

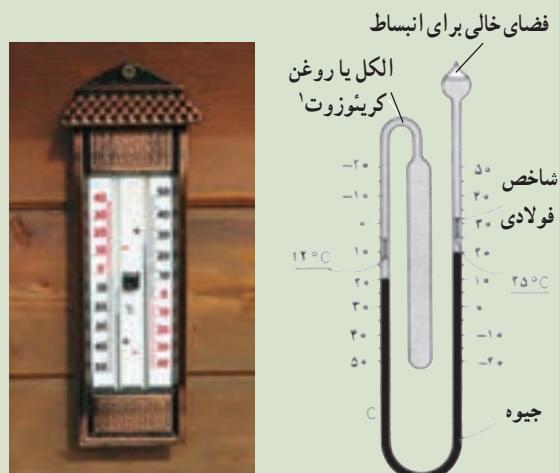
## گرما و قانون گازها



شکل ۶-۲- طرحی از یک دماسنچ ترموکوپل

متفاوت تکرار کنیم می‌توانیم شدت جریان مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گستره دماسنچی یک ترموکوپل می‌تواند از صفر تا حدود  $1600^{\circ}\text{C}$  باشد. مزیت ترموکوپل در این است که به خاطر جرم کوچک، خلی سریع با دستگاهی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود به حال تعادل گرمایی می‌رسد.

**دماسنچ بیشینه - کمینه:** این دماسنچ نوع ویژه‌ای از دماسنچ‌های مایعی است که بیشینه و کمینه دمای را در یک مدت زمان معین نشان می‌دهد. از این دماسنچ معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می‌کنند. شکل زیر طرح‌واره‌ای از این نوع دماسنچ را نشان می‌دهد. 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.



شکل ۶-۳- طرح‌واره‌ای از یک دماسنچ بیشینه - کمینه و شکلی واقعی از یکی از انواع آن

اگر سطح جیوه در لوله سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی، که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد. 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. اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید شاخص فولادی سمت چپ نیز که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می‌ایستد. با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان مدت زمان مورد نظر به سطح جیوه برگردانده می‌شوند. در طراحی جدید این نوع دماسنچ‌ها به علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به عنوان جایگزین استفاده می‌شود.

## گرما و تعادل گرمایی :

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما، بین دو جسم مبادله می‌شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی‌ای که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، برابر انرژی‌ای است که جسم با دمای پایین تر می‌گیرد. این مبادله گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که دمای دو جسم یکسان شود، و از آن پس دیگر گرمایی بین دو جسم مبادله نمی‌شود.

در این حالت می‌گوییم دو جسم با هم در **تعادل گرمایی** اند و دمای مشترک آنها را **دما تعادل** می‌نامیم. برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلز با دمای بالاتر به آب با دمای پایین تر، شارش می‌کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعه فلز و آب هم دما شوند و به دمای تعادل برسند.

## تغییر دما – گرمای ویژه :

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر دمای معین را محاسبه کردیم. دیدیم که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم‌های مختلف به مقدارهای متفاوت گرمای نیاز است. گرمای ویژه هر جسم را که با نماد  $c$  نمایش داده می‌شود 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 کلوین) افزایش یابد.**

به این ترتیب گرمای  $Q$  برای ایجاد تغییر دمای  $\Delta T$  یا  $\Delta\theta$  برای  $m$  کیلوگرم از یک جسم برابر است با

$$Q = mc\Delta\theta = mc (\theta_f - \theta_i) = mc(T_f - T_i) \quad (2-6)$$

در این رابطه  $Q$  (گرمای) بر حسب ژول،  $m$  (جرم) بر حسب کیلوگرم،  $\Delta\theta$  (تغییر دما) بر حسب

درجه سلسیوس و  $\Delta T$  بر حسب کلوین است. یکای  $c$  با استفاده از رابطه  $2-6$ ،  $^{\circ}\text{C}$  یا  $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$  یا

است. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول ۶-۱ داده شده است.

جدول ۶-۱- گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم کلوین

گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه	ماده
۸۰۰	بتن	۱۳۰	سرپ
۸۰۰	گرانیت	۱۴۰	جبوه
۸۸۰	سنگ مرمر	۲۴۰	نقره
۹۰۰	آلومینیم	۳۸۰	برنج
۲۱۰۰	یخ ( ${}^{\circ}\text{C}$ )	۳۹۰	مس
۲۴۳۰	اتانول	۴۵۰	فولاد
۳۹۰۰	آب دریا	۴۹۰	استیل ضدزنگ
۴۲۰۰	آب	۵۰۰-۸۵۰	شیشه

۱- آلیاژ آهن با ۲٪ کربن

اگر دمای جسم در اثر مبادله گرما بالا رود  $\theta_2 > \theta_1$  و  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$  و رابطه ۶-۲ مقدار مثبتی برای  $Q$  بدست می‌دهد ( $Q > 0$ ) در حالی که اگر دمای جسم با مبادله گرما کاهش یابد،  $\theta_2 < \theta_1$  و  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ ، و مقداری که برای  $Q$  به دست می‌آید منفی خواهد بود ( $Q < 0$ ). پس می‌توان گفت که علامت  $Q$  در رابطه ۶-۲ مشخص می‌کند که جسم گرما گرفته است ( $Q > 0$ ) یا گرمایی داده است ( $Q < 0$ ). از این پس در این کتاب همواره گرمایی برای جسمی که گرمایی را می‌گیرد مثبت و برای جسمی که گرمایی را از دست می‌دهد منفی در نظر گرفته می‌شود.

### مثال ۲-۷

یک قطعه  $100\text{ g}$  گرمی از مس را که دمای آن  $90^\circ\text{C}$  است در یک ظرف آب سرد می‌اندازیم، دمای تعادل به  $24^\circ\text{C}$  می‌رسد. گرمای  $Q$  را برای مس حساب کنید.

**پاسخ :**  $Q = mc\Delta\theta = 100\text{ g} \times 39\text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (90^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) = 3900\text{ J}$

از رابطه ۶-۲ برای مس، به دست می‌آوریم :

$$Q = mc\Delta\theta = 100\text{ g} \times 39\text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (90^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) = 3900\text{ J}$$

علامت منفی که در محاسبه  $Q$  به دست آمده، نشان می‌دهد که مس گرمایی را از دست داده است.

### مثال ۳-۷

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 انرژی ای که چنین دستگاهی از سلول‌های خورشیدی متصل به ماهواره در هر ثانیه دریافت می‌کند  $10\text{ J}$  و انرژی ای که فرستنده امواج به سمت زمین گسیل می‌کند  $3\text{ J}$  باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون با گرمایی ویژه  $70\text{ J/kg}^\circ\text{C}$  و جرم آن  $5\text{ g}$  کیلوگرم است. در مدت  $100\text{ ثانیه}$  :

الف) دستگاه چقدر انرژی دریافت و چقدر انرژی گسیل کرده است؟

ب) با توجه به پایستگی انرژی، افزایش انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

پ) افزایش انرژی درونی، معادل گرمایی است که سبب افزایش دمای دستگاه می‌شود. افزایش دمای دستگاه چقدر است؟

**پاسخ :**

الف) اگر انرژی را با  $E$  و توان را با  $P$  نشان دهیم،  $E = Pt$  است و درنتیجه،

$$E = P_{\text{دریافت}} t = 10 \times 100 = 1000\text{ J}$$

$$E = P_{\text{گسیل}} t = 3 \times 100 = 300\text{ J}$$

ب) اگر تغییر انرژی درونی دستگاه را با  $\Delta U$  نمایش دهیم، با استفاده از قانون پایستگی انرژی داریم :

$$\Delta U = E_{\text{گسیل}} - E_{\text{دریافت}} = 1000 - 300 = 700\text{ J}$$

(پ)

$$\Delta U = Q = mc\Delta\theta$$

$$70 \times 10 \times \Delta\theta = 50 \Rightarrow \Delta\theta = 2^\circ C$$

این افزایش دما دائمی نیست و پس از مدتی دمای دستگاه ثابت می‌ماند. پس از آنکه دمای دستگاه به مقدار معینی رسید، سازوکارهایی وجود دارد که مانع از افزایش بیشتر دمای دستگاه می‌شود.

**دما تعادل:** اگر دو یا چند جسم با دمای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند و پس از مدتی هم‌دما شوند، دمای تعادل را می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرم‌تر از دست می‌دهند؛ برای این اجسام  $Q < 0$  است. بقیه اجسام گرم‌تر می‌گیرند؛ برای این اجسام  $Q > 0$  است. بنا به قانون پایستگی انرژی همان‌قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام سرد انرژی می‌گیرند. یعنی حاصل جمع این  $Q$ ‌ها صفر است:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (3-6)$$

### مثال ۷-۴

یک قطعه ۱۴۰ گرمی آلومینیم را که دمای آن  $18^\circ C$  است در ظرف عایقی که حاوی ۲۵۰g آب در دمای  $22^\circ C$  است می‌اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرمای بین ظرف و آب چشم‌بوشی کنید.

**پاسخ:** در این مثال دو جسم داریم که تغییر دمای داده‌اند، برای سادگی مشخصه‌های آنها را با زیرنویس‌های ۱ و ۲ نشان

می‌دهیم، یعنی:

$$m_1 = 140 \text{ g} = 0.14 \text{ kg}$$

$$\theta_1 = 18^\circ C$$

واز جدول ۱-۶

$$c_1 = 900 \text{ J/kg} \cdot ^\circ C$$

و همین طور برای آب داریم:

$$m_2 = 250 \text{ g} = 0.25 \text{ kg}$$

$$\theta_2 = 22^\circ C$$

واز جدول ۱-۶

$$c_2 = 4200 \text{ J/kg} \cdot ^\circ C$$

دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیم است را با  $\theta$  نمایش می‌دهیم. آنگاه بنا به رابطه ۳-۶ داریم:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) = 0$$

$$0.14 \times 900 \times (\theta - 18) + 0.25 \times 4200 \times (\theta - 22) = 0$$

درنتیجه:

$$\theta \approx 28^\circ C$$

## گرمای و قانون گازها

هرگاه چند جسم متفاوت با گرمایانی ویژه  $c_1, c_2, c_3, \dots$  به جرم‌های  $m_1, m_2, m_3, \dots$  با دمای اولیه  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots$  را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه ۶-۳ معادله به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل را از آن محاسبه کرد:

$$m_1c_1(\theta - \theta_1) + m_2c_2(\theta - \theta_2) + m_3c_3(\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (4-6)$$

از معادله ۶-۴ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده

کنیم.

## مثال ۴-۷

در ظرف عایقی حاوی  $50\text{ g}$  آب  $20^\circ\text{C}$ ، یک قطعه مس  $100\text{ g}$  گرمی به دمای  $50^\circ\text{C}$  و یک قطعه فلز دیگر به جرم  $150\text{ g}$  و به دمای  $60^\circ\text{C}$  و گرمای ویژه نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل  $22^\circ\text{C}$  شده است. با چشم‌پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را محاسبه کنید.

**پاسخ:** با استفاده از داده‌های این مثال و جدول ۱-۶ داریم:

$$\text{آب} : m_1 = 50\text{ g} = 0.05\text{ kg}, \theta_1 = 20^\circ\text{C}, c_1 = 4200\text{ J/kg} \cdot \text{C}$$

$$\text{مس} : m_2 = 100\text{ g} = 0.1\text{ kg}, \theta_2 = 50^\circ\text{C}, c_2 = 390\text{ J/kg} \cdot \text{C}$$

$$\text{فلز} : m_3 = 150\text{ g} = 0.15\text{ kg}, \theta_3 = 60^\circ\text{C}, c_3 = ?$$

$$\text{demai تعادل} : \theta = 22^\circ\text{C}$$

با استفاده از رابطه ۶-۴ داریم:

$$m_1c_1(\theta - \theta_1) + m_2c_2(\theta - \theta_2) + m_3c_3(\theta - \theta_3) = 0$$

$$0.05 \times 4200 \times (22 - 20) + 0.1 \times 390 \times (22 - 50) + 0.15 \times c_3 \times (22 - 60) = 0$$

درنتیجه

$$c_3 \approx 545 \text{ J/kg} \cdot \text{C}$$

## تمرین ۴-۷

جسمی به جرم  $30\text{ g}$  و دمای  $25^\circ\text{C}$  را درون ظرف عایقی حاوی  $50\text{ g}$  آب  $25^\circ\text{C}$  می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل  $21^\circ\text{C}$  می‌شود، گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

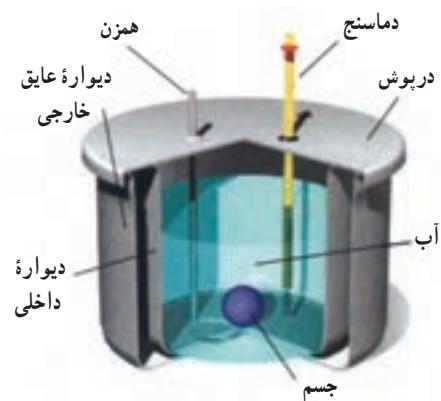
## گرماسنج و گرماسنجه : گرماسنج که به آن کالری متر نیز می‌گویند و در شکل ۴-۶

تشان داده شده است، ظرفی فلزی و دربوش دار است که به خوبی عایق بندی گرمایی شده است. این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجه مانند تعیین گرمای ویژه اجسام به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معلوم می‌بریم و پس از همدما شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسمی که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیه آن را اندازه گرفته‌ایم، درون گرماسنج قرار می‌دهیم و به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. با استفاده از رابطه‌های ۴-۳ و ۴-۶ و با چشم‌پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادله گرمایی :

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} = Q_{\text{ظرف}}$$

$$= (Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_1 - Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_2) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta_1 - \theta_2)$$

به کمک این رابطه می‌توانیم گرمای ویژه جسم را به دست آوریم. حاصل ضرب جرم در گرمای ویژه یک جسم را ظرفیت گرمایی آن جسم می‌نامند و آن را با  $C$  نشان می‌دهند. یکای این کمیت،  $J/K$  یا  $^{\circ}\text{C}/J$  است. معمولاً در مورد گرماسنج به جای آنکه جرم و گرمای ویژه ظرف گرماسنج را جداگانه معلوم کنند، ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج را مشخص می‌کنند.



شکل ۴-۶- طرحی از نمای داخلی و  
اجزای یک گرماسنج

## مثال ۴-۷

قطعه‌ای فلزی به جرم  $g = 55\text{ g}$  و دمای  $C = 75^{\circ}\text{C}$  که گرمای ویژه‌اش نامعلوم است را درون گرماسنجی حاوی  $g = 50\text{ g}$  آب  $15/5^{\circ}\text{C}$  می‌اندازیم. ظرف گرماسنج الومینیومی و جرم آن  $g = 100\text{ g}$  است. دمای تعادل مجموعه  $18/8^{\circ}\text{C}$  می‌شود.

- (الف) گرمای ویژه قطعه فلز چقدر است؟ با مراجعه به جدول ۶-۱ تعیین کنید این قطعه فلز از چه جنسی می‌تواند باشد؟  
(ب) با چشم‌پوشی از مبادله گرمایی ظرف گرماسنج، گرمای ویژه قطعه فلز را دوباره بیابید.

پاسخ :

(الف)

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} = Q_{\text{ظرف}}$$

$$= (Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_1 - Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_2) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta_1 - \theta_2)$$

$$= (18/8 - 15/5) \times 100 + (18/8 - 75) \times 50 = 100 \times 90 - 15/5 \times 50 = 0$$

$$c_{\text{جسم}} = \frac{J}{kg \cdot ^{\circ}\text{C}} = \frac{6930 - 30/91 \times 100}{297} = 234$$

با مراجعه به جدول ۶-۱ در می‌یابیم که این فلز می‌تواند نقره باشد.

(ب) با چشم‌پوشی از مبادله گرمایی ظرف گرماسنج داریم :

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} = 0$$

$$= (Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_1 - Q_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \theta_2) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta_1 - \theta_2)$$

$$= (18/8 - 75) \times 50 + (18/8 - 15/5) \times 50 = 0$$

$$c_{\text{جسم}} = \frac{J}{kg \cdot ^{\circ}\text{C}} = \frac{6930 - 30/91 \times 50}{224} = 224$$

با مقایسه پاسخ‌های (الف) و (ب) معلوم می‌شود که اثر ظرف گرماسنج در مبادله گرمایی ناچیز است.

## آزمایش ۱-۶

**وسیله‌های آزمایش:** گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی قلابدار)، دماسنج، ترازو، پرس شیشه‌ای، چراغ گازی، سه‌پایه و شعله‌پخش کن، انبر.

**شرح آزمایش:**

۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بروزد و صیر کنید تا دمای گرماسنج و آب، یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بروزد و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روش بگذارد.

۴- صیر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز است.

۵- جسم داغ شده را توسط انبر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.

۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بزنید و دمای تعادل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

۷- با استفاده از معادله زیر که از رابطه ۶-۴ به دست آمده است،

$$m_{\text{گرماسنج}}(θ_1 - θ_0) + m_{\text{جسم}}(θ_0 - θ_1) = m_{\text{آب}}(θ_1 - θ_0)$$

گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.

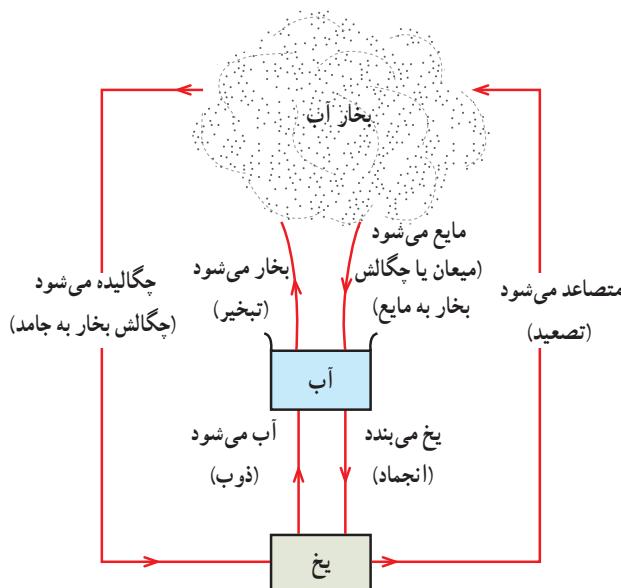
## ۶-۲- حالت‌های ماده

همان طور 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. برای مثال در شکل ۶-۵ انواع تغییر حالت‌هایی که برای آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه‌اند.

تبدیل جامد به مایع را **ذوب**، تبدیل مایع به بخار را **تبخیر** و تبدیل مایع به جامد را **انجماد** و تبدیل بخار به مایع را **میعان** یا **چگالش بخار** به **مایع** نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، **تصعید** و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد **چگالش بخار به جامد** گفته می‌شود. برای مثال نفتالین در دمای اتاق به طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود و یا در صبح‌های بسیار سرد



شکل ۶-۵- انواع تغییر حالت‌های آب

زمستان بر فکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است.

در ادامه تغییر حالت‌های جامد به مایع و مایع به بخار یا گاز را به طور جداگانه بررسی می‌کیم.

**ذوب:** پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرمای دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرمادان را برای جامدات خالص و بلورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت باقی می‌ماند. در این حالت جسم شروع به ذوب شدن می‌کند و به مایع تبدیل می‌شود. این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد **دمای ذوب یا نقطه ذوب** و به عبارتی **دمای گذار جامد به مایع** می‌نامند. معمولاً حجم جامدات بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می‌یابد، زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول‌ها در حالت جامد اشغال می‌کند نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است.

برخلاف جامدات خالص و بلورین، جامدات بی‌شکل مانند شیشه و قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع، وقتی این مواد را گرم می‌کنیم پیش از ذوب شدن خمیری شکل می‌شوند. این مواد در گسترهای از دما به تدریج ذوب می‌شوند<sup>۱</sup>.

معمولًاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالارفتن نقطه ذوب جسم می‌شود. در برخی اجسام مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می‌انجامد. نقطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجه سلسیوس است.

#### فعالیت ۷-۶

درباره علت دیرتر آب شدن برف روی قله کوه‌ها تحقیق کنید. نتیجه تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

عمل ذوب، فرایندی گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرمابدهیم تا به مایع تبدیل شود. این گرمادمای جسم را تغییر نمی‌دهد بلکه سبب تغییر حالت آن می‌شود. گرمای لازم برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع، در دمای ذوب، با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرمای ذوب (یا گرمای نهان ذوب) می‌نامیم و آن را با  $L_F$  نشان می‌دهیم<sup>۲</sup>:

$$L_F = \frac{Q}{m}$$

۱- درست‌تر آن است که بگوییم موادی مانند شیشه یا قیر که ساختار بلورین ندارند و در فیزیک به آنها آمورف گفته می‌شود، هنگام ذوب یا انجماد، تغییر حالت (فاز) نمی‌دهند. قیر یا شیشه هنگام ذوب با انجماد فقط شل یا سفت می‌شوند و ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدات بلورین) تغییر نمی‌کند. به همین دلیل برخی کتاب‌ها، شیشه را مایع سفت نیز می‌گویند.  
۲- زیرنویس F حرف اول واژه انگلیسی Fusion به معنای ذوب است.

گرمای ذوب به جنس جسم بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. بنابراین گرمای لازم برای ذوب جسم جامدی به جرم  $m$  و گرمای ذوب  $L_F$  از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Q = mL_F \quad (5-6)$$

گرمای ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول ۶-۲ داده شده است.

جدول ۶-۲- نقطه ذوب و گرمای ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

گرمای ذوب (kJ/kg)	نقطه ذوب (°C)	ماده
۵۸/۶	-۲۵۹	هیدروژن
۱۳/۸	-۲۱۸	اکسیژن
۲۵/۵	-۲۱°	ازت
۱۱/۸	-۳۹	جیوه
۳۲۳/۷	°	بین
۳۸/۱	۱۱۹	گوگرد
۲۴/۵	۳۲۷	سرپ
۱۶۵	۶۳°	قلع
۸۸/۳	۹۶°	نقره
۶۴/۵	۱۰۶۳	طلای
۱۳۴	۱۰۸۲	من

#### مثال ۷-۴



فلز گالیم (Ga) عنصری و یک جدول تناوبی عناصر است. دمای ذوب این فلز  $29.8^{\circ}\text{C}$  و گرمای ذوب آن  $80.4\text{ kJ/kg}$  است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود هرگاه این فلز را در دست بگیریم شروع به ذوب شدن می‌کند. حساب کنید که یک قطعه  $10\text{ g}$  از این فلز چقدر گرمی از دست ما می‌گیرد تا در نقطه ذوب خود بطور کامل ذوب شود.

پاسخ:

$$Q = mL_F = (10 \times 10^{-3}) (80.4 \times 10^3) = 804\text{ J}$$

۱- پیش از این در کتاب‌های درسی گرمای لازم برای ذوب هر جسم جامد، یعنی  $Q$ ، را گرمای نهان ذوب و  $L_F$  را گرمای نهان و بیزه ذوب می‌نامیدند که این نام‌گذاری امروزه چندان مرسوم نیست.

**انجماد:** وقتی از مایع خالصی گرما می‌گیریم، سرد می‌شود تا به نقطه انجماد خود برسد. اگر

گرمگرفتن از مایع را در این دما ادامه دهیم مایع شروع به جامدشدن می‌کند، بی‌آنکه دمای آن کاهش یابد. دمای نقطه ذوب هر ماده با دمای انجماد آن در فشار یکسان برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به یخ صفر درجه سلسیوس گرمای دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجه سلسیوس گرمای بگیریم شروع به انجماد می‌کند.

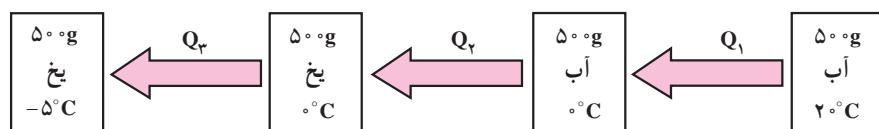
هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرمای از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. همان‌طور که قبلًاً دیدیم وقتی جسم گرمای از دست می‌دهد  $\Delta Q < 0$  است، پس برای محاسبه گرمای هنگام انجماد مایعی به جرم  $m$  داریم،

$$Q = -mL_f \quad (6-6)$$

در اینجا نیز مانند فرایند ذوب که برای جامد‌های غیربلورین نقطه انجماد مشخصی وجود ندارد، وجود ناخالصی موجب می‌شود که مایع، نقطه انجماد مشخصی نداشته باشد بلکه انجماد در گستره‌ای از دمای رخ دهد. مثلاً هنگام یخ‌زن آب نمک، اولین بلورها در دمای کمتر از  $0^\circ\text{C}$  تشکیل می‌شود و انجماد کامل در دمای کمتر، تا  $-18^\circ\text{C}$  روی می‌دهد.

#### مثال ۸-۴

از  $50^\circ\text{C}$  آب با دمای  $20^\circ\text{C}$  چند کیلوژول گرمای بگیریم تا به یخ با دمای  $-5^\circ\text{C}$  تبدیل شود؟  
پاسخ: مرحله‌های این فرایند به طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن :

$$Q_1 = mc\Delta\theta = 0.5 \times 4200(0 - 20) = -4200 \text{ J} = -42 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = -mL_f = -0.5 \times 334000 = -167000 \text{ J} = -167 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = mc\Delta\theta = 0.5 \times 2100(-5 - 0) = -5250 \text{ J} = -5.25 \text{ kJ}$$

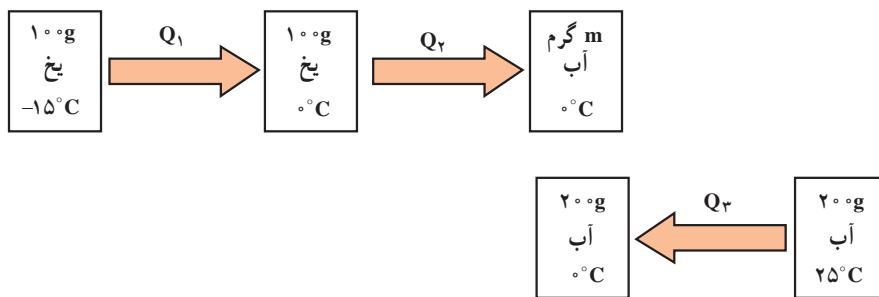
بنابراین کل گرمای برابر است با

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -214/25 \text{ kJ}$$

یعنی باید  $214/25 \text{ kJ}$  گرمای آب بگیریم.

در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز  $g = 20\text{ g}$  آب با دمای  $25^\circ\text{C}$  وجود دارد. قطعه یخی به جرم  $100\text{ g}$  و دمای  $-15^\circ\text{C}$  درون آن می‌اندازیم. پس از مبادله گرمایی و برقراری تعادل گرمایی، مخلوطی از آب و یخ به جا می‌ماند. جرم یخ باقی‌مانده چند گرم است؟

**پاسخ:** می‌دانیم دمای تعادل آب خالص و یخ خالص در فشار  $1\text{ atm}$  برابر  $0^\circ\text{C}$  است. مرحله‌های طرح‌وار این فرایند در شکل زیر رسم شده است.



$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$m_i c_i \Delta\theta_i + m_w c_w \Delta\theta_w + m_{\text{frozen}} L_f = 0$$

$$0.1 \times 2100(0 - (-15)) + m \times 334000 + 0.2 \times 4200(0 - 25) = 0$$

$$3150 + 334000m - 21000 = 0$$

$$334000m = 17850 \Rightarrow m = 0.053\text{ kg} = 53\text{ g}$$

بنابراین  $47\text{ g}$  از یخ ذوب‌نشده باقی می‌ماند.

### تمرین ۹-۷

اگر در مثال ۶-۹ جرم قطعه یخ اولیه  $50\text{ g}$  باشد، دمای تعادل چقدر می‌شود؟

### آزمایش ۹-۷

**وسیله‌های آزمایش:** بشر شیشه‌ای با حجم  $40\text{ cc}$ ، چراغ‌گازی، سه‌پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

**شرح آزمایش:**

- ۱- آب در بشر بریزید و آن را روی سه‌پایه قرار دهید. چراغ‌گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به  $60^\circ\text{C}$  برسد.
- ۲- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- قطعه یخی به جرم تقریبی  $50\text{ g}$  را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای  $0^\circ\text{C}$ ) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- ۴- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.
- ۵- با استفاده از اعداد بدست آمده، گرمای ذوب یخ ( $L_f$ ) را حساب کنید.

**تبخیر و جوشیدن :** وقتی لباس خیسی را روی بند رخت می‌اندازیم آب موجود در آن پس از مدتی بخار و لباس خشک می‌شود. آبی که در هوای گرم تابستان روی زمین می‌پاشیم نیز به سرعت بخار و زمین خشک می‌شود. در پدیده‌هایی از این دست می‌بینیم که مایع در هر دمایی تبخیر می‌شود. بعضی از مولکول‌های مایع که به سرعت‌های به اندازه کافی زیاد برستند از سطح مایع فرار می‌کنند. به این فرایند **تبخیر سطحی** می‌گوییم. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل‌های مختلفی از جمله دمای مایع و مساحت سطح آن بستگی دارد.

### فعالیت ۷-۳

- (الف) بررسی کنید که افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع هریک تبخیر سطحی مایع را تندتر یا کندتر می‌کند.
- (ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.
- (پ) تحقیق کنید که چگونه عرق کردن به خنک‌نگه‌داشتن بدن کمک می‌کند.

با گرم کردن تدریجی مایع، آهنگ تبخیر سطحی آن افزایش می‌یابد. بخشی از گرمای داده شده به مایع موجب افزایش دما و بخش دیگر موجب تبخیر سطحی مایع می‌شود. تاکنون در حل مسئله‌های گرمانسنجی، گرمایی را که هنگام افزایش دمای مایع صرف تبخیر سطحی آن می‌شود، نادیده گرفتیم. وقتی مایعی را گرم می‌کنیم دمای آن بالا می‌رود تا اینکه در دمای خاصی حباب‌های گاز درون مایع شکل می‌گیرند و به سطح مایع می‌آیند و از آن خارج می‌شوند. به این پدیده **جوشیدن مایع** و به این دمای **جوش یا نقطه جوش** می‌گوییم.

در نقطه جوش هرچه به مایع گرمای بدهیم دمای آن افزایش نمی‌یابد و همه گرمای صرف تبخیر مایع می‌شود. آهنگ تبخیر هر مایع در نقطه جوش آن به بیشترین مقدار خود می‌رسد. تجربه نشان می‌دهد که گرمای لازم برای تبخیر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرمای به جرم مایع بخارشده را **گرمای تبخیر** مایع (یا گرمای نهان تبخیر مایع) می‌نامیم و آن را با  $L_v^1$  نشان می‌دهیم.

$$L_v = \frac{Q}{m}$$

گرمای تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم ( $J/kg$ ) است. گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم  $m$  که گرمای تبخیر آن  $L_v$  است از رابطه زیر به دست می‌آید<sup>۲</sup> :

$$Q = mL_v$$

(۷-۶)

۱- زیرنویس  $v$  حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنی تبخیر است.

۲- پیش از این در کتاب‌های درسی گرمای لازم برای تبخیر مایع ( $Q$ ) را گرمای نهان تبخیر و  $L_v$  را گرمای نهان ویژه تبخیر می‌نامیدند.

این نام‌گذاری امروزه چندان مرسوم نیست.

جدول ۶-۳- برخی از مقدارهای  $L_v$  را نشان می‌دهد که به طور تجربی برای آب در دماهای مختلف بدست آمده است.

جدول ۶-۳- مقادیر  $L_v$  برای آب در دماهای مختلف

$L_v(\text{kJ/kg})$	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )
۲۴۹۰	۰
۲۴۵۴	۱۵
۲۳۷۴	۵۰
۲۲۵۶	۱۰۰
۲۱۱۵	۱۵۰

#### فعالیت ۶-۴

تحقیق کنید چرا در جدول ۶-۳ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد.

#### مثال ۶-۱

معمولًاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی  $5^{\circ}\text{C}$  ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر  $20\text{ g}$  آب در این شرایط چقدر گرمای لازم است؟

**پاسخ:** با توجه به رابطه ۶-۷ و استفاده از جدول ۶-۳ داریم:

$$Q = m L_v = (20/2)(2374 \times 10^3) \approx 475 \times 10^5 \text{ J}$$

در مسئله‌های عملی بیشتر با گرمای تبخیر مایع در نقطه جوش آن سروکار داریم و البته نقطه جوش هر مایع به جنس و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالارفتن نقطه جوش آن می‌شود. جدول ۶-۳ نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی از مواد را در فشار یک اتمسفر نشان می‌دهد.

## جدول ۴-۶ نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)	نقطه جوش (°C)	ماده
۲۱	-۲۶۹	هليوم
۴۶	-۲۵۳	هيدروژن
۲۰	-۱۹۶	ازت
۲۱۴	-۱۸۳	اكسيرن
۱۳۶۹	-۳۵	آمونياك
۳۷۷	۳۵	اتر
۱۹۳	۵۹	برم
۲۴۷	۶۲	كلروفرم
۸۴۶	۷۹	الكل (اتانول)
۲۹۰	۸۰	بنزن
۲۲۵۶	۱۰۰	آب
۱۶۴	۱۸۴	يد
۹۷۴	۲۹۰	گليسيرين
۲۹۵	۳۵۷	جيوه
۱۵۱	۴۴۵	گوگرد

### فعالیت ۴-۷

علت سریع تر پخته شدن غذا در دیگ زودپزرا با افراد گروه خود مورد بحث قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

### مثال ۴-۷

۲ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی  $W/5\text{ kW}$  می‌ریزیم و آن را روشن می‌کنیم.

الف) از لحظه آغاز جوشیدن تا تبخیر همه آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می‌شود؟

ب) چه مدت طول می‌کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام گرمای تولید شده کتری به آب می‌رسد.

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۴-۶ داریم :

$$Q = mL_v = (2 \times 10^3)(2256) = 4/5 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q = Pt \Rightarrow t = \frac{4/5 \times 10^6}{1/5 \times 10^3} = 3000 \text{ s} = 50 \text{ min} \quad (\text{ب})$$

برای اندازه‌گیری گرمای تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش‌های عملی گوناگونی وجود دارد

که آزمایش کنید ۴-۶ براساس یکی از این روش‌ها طراحی شده است.

## آزمایش ۷-۳



**وسایل لازم :** بشر ۲۰۰°C، دماسنجه، سه پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز،

زمان سنج، آب و ترازو

**شرح آزمایش :**

- ۱- جرم بشر خالی را اندازه گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلًا ۲۰۰ g) در آن بریزید.
- ۲- توری را روی سه پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و اrlen را روی توری قرار دهید.
- ۳- دماسنجه را به کمک پایه و گیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین‌تر از سطح آب باشد.
- ۴- در لحظه‌ای که دمای آب به ۷۰°C می‌رسد زمان سنج را روشن کنید.  
( $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ,  $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$ )

۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان ( $t_2$ ) و دما ( $\theta_2$ ) را ثبت کنید.

- ۶- با استفاده از رابطه  $P(t_2 - t_1) = mc(\theta_2 - \theta_1)$  و جاگذاری مقادیر معلوم، توان گرمادهی چراغ به آب (P) را به دست آورید.
- ۷- گرمادان را آنقدر ادامه دهید تا مقدار قابل ملاحظه‌ای از آب بخار شود (تذکر: در طول گرمادان باید شرایط چراغ و بشر ثابت بماند تا توان گرمادهی چراغ به آب تغییر نکند).
- ۸- زمان ( $t_3$ ) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کدن آن جرم آب بخارشده ( $m'$ ) را به دست آورید.
- ۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطه  $P(t_3 - t_2) = m'L_v$  به دست آورید.

## تمرین ۷-۴

قطعه یخی به جرم ۵ کیلوگرم و دمای اولیه ۲۰°C را آنقدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار ۱۰۰°C شود. کلّ

گرمایی که برای این منظور صرف کردہ‌ایم چند کیلوژول است؟

**میان:** میان، وارون فرایند تبخیر است. بخار هنگام تبدیل شدن به مایع گرما از دست می‌دهد.

این گرما برابر گرمایی است که مایع هنگام تبخیر می‌گیرد. میان نیز مانند تبخیر، در هر دمایی رخ می‌دهد.

گرمای مربوط به میان مقداری بخار به جرم  $m$  و گرمای تبخیر  $L_v$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -mL_v \quad (8-6)$$

علامت منفی نشان‌دهنده آن است که بخار هنگام میان گرما از دست می‌دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می‌شود. مثلًا اتاق حمامی را پس از دوش گرفتن یک شخص در نظر بگیرید.

وقتی شما وارد حمام شوید پس از چند لحظه احساس می‌کنید که گرمتان شده است. زیرا در اثر باز بودن دوش (حتی اگر آب سرد باشد) مقداری بخار آب در فضای حمام ایجاد شده است و با ورود شما به حمام، میان این بخار روی بدنتان به شما گرمایش می‌دهد.

### مثال ۱۴.۷

در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی بر روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره قطره می‌چکد. اگر دمای شیشه حدود  ${}^{\circ}\text{C}$  باشد برای آنکه حدود ۵ گرم آب روی شیشه تقطیر شود چقدر گرمایش داده می‌شود؟  
پاسخ:

با استفاده از جدول ۶-۴ و رابطه ۶-۸ داریم:

$$Q = -mL_v = -(5 \times 10^{-3})(2490 \times 10^3) = -12450 \text{ J}$$

در این عمل ۱۲۴/۵ کیلوژول گرمایش داده می‌شود.

### فعالیت ۷-۶

در مورد ایجاد شبیم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

### ۳-۶ انبساط گرمایی

معمولًاً برای آنکه در فلزی محکم یک ظرف شیشه‌ای را باز کنیم روی آن آب داغ می‌ریزیم. وقتی دو لیوان شیشه‌ای در هم گیر کرده باشند می‌توانیم با ریختن آب سرد در لیوان داخلی و گذاشتن لیوان بیرونی در آب گرم، دو لیوان را از هم جدا کنیم. وقتی دندانپزشک سوراخ دندانی را پُرمی‌کند باید ماده پُرکننده همان مشخصه‌های انبساط گرمایی دندان را داشته باشد، چرا که در غیر این صورت خوردن یک بستنی سرد و در پی آن نوشیدن چایی داغ بسیار دردناک خواهد بود.

### فعالیت ۷-۷

توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل زیر نشان داده شده است پدیده انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.



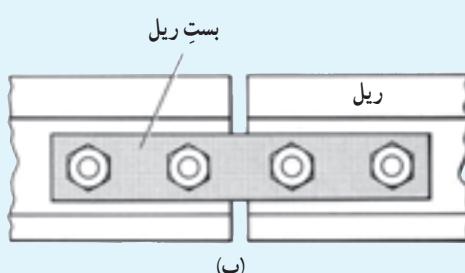
بیشتر اجسام با افزایش دما انبساط پیدا می‌کنند و یا با کاهش دما حجمشان کم می‌شود. این پدیده اساس ساخت بعضی از دماسنجهای و دمایا (ترموستات) است – بی توجهی به پدیده انبساط در ساختن پل‌ها، خط آهن‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

## فعالیت ۸-۴

شکل الف، اتصال دو قسمت متواالی یک پل را نشان می‌دهد. تحقیق کنید چرا برای اتصال دو بخش پل از این روش استفاده می‌شود. شکل ب، طرحی از دو قسمت متواالی خط آهن (ریل راه آهن) را نشان می‌دهد. تحقیق کنید اگر فاصلهٔ خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نباشد، چه مشکلی پیش می‌آید (شکل پ).



(ب)



(الف)

جدول ۶-۵- ضریب انبساط طولی برخی اجسام

ضریب انبساط طولی ( $\frac{1}{K}$ )	ماده
$1/2 \times 10^{-6}$	الماس
$3/2 \times 10^{-6}$	شیشهٔ پیرکس
$9 \times 10^{-6}$	شیشهٔ معمولی
$11 \times 10^{-6}$	فولاد
$12 \times 10^{-6}$	بتون
$17 \times 10^{-6}$	مس
$19 \times 10^{-6}$	برنج
$23 \times 10^{-6}$	آلومینیوم
$29 \times 10^{-6}$	سرپ
$51 \times 10^{-6}$	بغ (در $^{\circ}\text{C}$ )

**انبساط طولی:** اگر میله‌ای به طول اولیه  $L_1$  را به اندازه  $\Delta T$  گرم کنیم به طول آن به اندازه  $\Delta L$  افزوده می‌شود. تجربه نشان می‌دهد  $\Delta L$  با  $L_1$  نسبت مستقیم دارد. اگر  $\Delta T$  خیلی زیاد نباشد  $\Delta L$  با  $\Delta T$  نیز نسبت مستقیم دارد. ضریب این تناسب را با  $\alpha$  نشان می‌دهیم و داریم:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \quad (6-6)$$

به  $\alpha$  ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد. یکای  $\alpha$ ، بر کلوین ( $\frac{1}{K}$ ) یا بر درجه سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ ) است. ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۶-۵ داده شده است.

توجه کنید که مقادیر داده شده برای  $\alpha$  در جدول بسیار کوچک هستند. همچنین خوب است بدانید که ضریب انبساط طولی  $\alpha$  علاوه بر جنس ماده، به دما نیز اندکی وابسته است اما به دلیل اینکه این وابستگی ناچیز است معمولاً برای مصارف عملی آن را نادیده می‌گیریم.

## مثال ۷-۱۳



پلی بتونی را با طول  $200\text{ m}$  در نظر بگیرید. افزایش طول این پل هنگامی که دمای آن  $5^\circ\text{C}$  زیاد شود چند سانتی‌متر است؟

**پاسخ :**

از جدول ۶-۵ و با استفاده از رابطه ۶-۹ داریم :

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \times 10^{-6})(20.0)(50) = 12 \times 10^{-4} \text{ m} \\ = 12 \text{ cm}$$

اگر در ساختمان این پل فضای لازم برای انساط طولی پیش‌بینی نشده باشد، چنین انساطی می‌تواند باعث تخریب پل شود.

## آزمایش ۷-۱۴



**وسایل آزمایش :** دستگاه اندازه‌گیری ضرب انساط طولی با چند لوله فلزی توخالی از جنس‌های مختلف، ارلن با دربوش سوراخ دار، لوله لاستیکی، توری، سه‌پایه و چراغ گاز

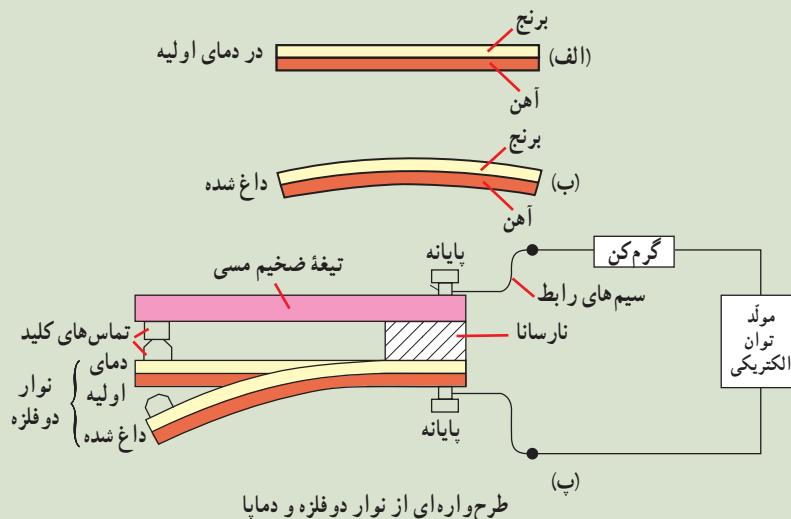
**شرح آزمایش :**

- ۱- طول لوله توخالی موردنظر را اندازه بگیرید ( $L_0$ ) و روی دستگاه نصب کنید.
- ۲- در اrlen مقداری آب بریزید و دربوش آن را بگذارید.
- ۳- دمای محیط را بخوانید ( $\theta_0$ ) و دماسنجه را از یک سوراخ و لوله لاستیکی را از سوراخ دیگر دربوش رد کنید.
- ۴- اrlen را گرما دهید تا آب به جوش آید.
- ۵- صبر کنید تا از سر آزاد لوله لاستیکی بخار آب خارج شود. سپس لوله را مطابق شکل به دستگاه وصل کنید.
- ۶- آنقدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لوله توخالی کاملاً گرم شود و دمای آن به حدود دمای آب جوش درون اrlen برسد ( $\theta_0$ ).
- ۷- افزایش طول میله توخالی را با ریزنجه متصل به دستگاه اندازه بگیرید ( $\Delta L$ ).
- ۸- با استفاده از رابطه ۶-۹ ضرب انساط طولی را به دست آورید.
- ۹- میله توخالی دستگاه را عوض کنید و آزمایش را برای میله‌ای با جنس دیگر دوباره انجام دهید.



## نوار دوفلزه<sup>۱</sup> و دمایا (ترموستات)

نوار دوفلزه از دو تیغه فلزی متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر بهم جوش داده یا برق شده‌اند (شکل الف). در دمای معمولی محیط، طول دو تیغه یکسان است. با افزایش دما طول تیغه‌ها افزایش می‌یابد. تیغه‌ای که ضریب انبساط طولی بزرگ‌تر دارد، افزایش طول بیشتری نیز خواهد داشت و در نتیجه نوار طوری خم می‌شود که تیغه با ضریب انبساط بیشتر کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی خم را تشکیل می‌دهد (شکل ب). اگر به جای گرم کردن نوار، آن را سرد کیم، نوار در خلاف جهت قبلی خم می‌شود.



به اندازه معینی بر سر براثر خم شدن نوار جریان قطع و گرم کن برقی خاموش می‌شود. با خاموش شدن گرم کن، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود باز می‌گردد و به این ترتیب دوباره مدار وصل و گرم کن برقی روشن می‌شود. دمایاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرمکن، سماوربرقی و ... کاربرد دارند.

**دمایا** کلیدی الکتریکی است که در آن قطع و وصل جریان با استفاده از حسگرهای گرمایی انجام می‌شود. اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دمایا استفاده می‌شود (شکل پ). در مدار ساده نشان داده شده در شکل پ، عبور جریان الکتریکی از گرم کن برقی باعث گرم شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار

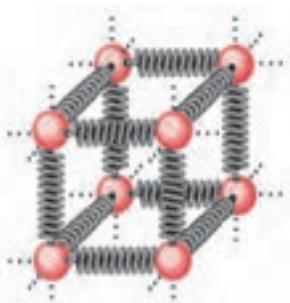
## صلاله آزاد

### فعالیت ۹-۷

شکل رو به رو دماسنجدی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دوفلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنجد را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.



انبساط گرمایی از دیدگاه مولکولی نیز قابل درک است. نیروهای بین اتمی در جامدها مثل فنر عمل می‌کنند (شکل ۶-۶). هر اتم در اطراف مکان تعادل خود نوسان می‌کند و با افزایش دما بر اثری و دامنه نوسان اتم‌ها افزوده می‌شود. در این حالت فاصله متوسط اتم‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد و در نتیجه جسم انبساط می‌یابد.



شکل ۶-۶ در جامدها، نیروهای بین اتمی مثل فنر عمل می‌کنند.

۱- با مطالعه (bi-metal)

## مثال ۷-۴

الف) ورقه‌ای مستطیلی شکل به اضلاع  $a_1$  و  $b_1$  را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای  $\Delta T$ ، طول اضلاع مستطیل به اندازه  $\Delta a$  و  $\Delta b$  افزایش می‌یابند که هریک با استفاده از رابطه ۶-۹ به دست می‌آید.

الف) افزایش مساحت این ورقه بر اثر افزایش دما چقدر است؟

ب) افزایش مساحت ورقه‌ای مسی به مساحت  $2500 \text{ cm}^2$  وقتی دمایش  $5^\circ \text{C}$  بالا رود، چند سانتی‌متر مربع است؟

**پاسخ:** الف) با استفاده از رابطه ۶-۹ می‌توان  $\Delta a$  و  $\Delta b$  را به دست آورد :

$$\Delta a = \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_r = a_1 + \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_r = a_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta b = \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_r = b_1 + \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_r = b_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

مساحت ورقه پس از افزایش دما برابر با  $a_r b_r$  است و بنابراین داریم :

$$A_r = a_r b_r = a_1 (1 + \alpha \Delta T) b_1 (1 + \alpha \Delta T) = a_1 b_1 (1 + \alpha \Delta T)^2$$

$$= a_1 b_1 (1 + 2\alpha \Delta T + (\alpha \Delta T)^2)$$

با توجه به اینکه  $\alpha$  معمولاً از مرتبه  $-5$  بر درجه سلسیوس است (جدول ۶-۵ را بینید) و  $\Delta T$  معمولاً بیشتر از مرتبه  $10^\circ \text{C}$  درجه سلسیوس نیست، می‌توان نتیجه گرفت که جمله  $(\alpha \Delta T)^2$  در مقایسه با جمله  $2\alpha \Delta T$  بسیار کوچک است و می‌شود از آن چشم‌بوشی کرد. از طرفی  $a_1 b_1$  همان مساحت اولیه ورقه است که آن را با  $A_1$  نشان می‌دهیم.

بنابراین می‌توان نوشت :

$$A_r = A_1 (1 + 2\alpha \Delta T) \Rightarrow A_r - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

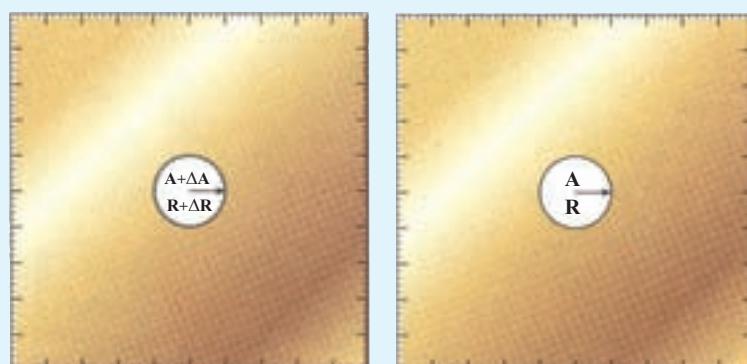
ب) از رابطه به دست آمده در قسمت الف استفاده می‌کنیم. ورقه از جنس مس است. ضریب انبساط طولی مس با استفاده

از جدول ۶-۵ برابر  $17 \times 10^{-6}$  است و بنابراین داریم :

$$A_r = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(1/17 \times 10^{-6})(2500)(50) = 4 \text{ cm}^2$$

## فعالیت ۱-۷

شکل‌های الف و ب نشان می‌دهند که وقتی روی یک صفحه فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و صفحه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. نشان دهید که اگر چنین صفحه‌ای را گرم کنیم، افزایش مساحت حفره از رابطه  $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$  به دست می‌آید.



**انبساط حجمی :** حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. اگر حجم اولیه جسم (جامد یا مایع)  $V$ ، افزایش دما  $\Delta T$  باشد جسم، افزایش حجمی به اندازه  $\Delta V$  پیدا می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\Delta V = \beta V, \Delta T \quad (10-6)$$

در این رابطه  $\beta$  ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع و یکای آن بر کلوین  $(\frac{1}{K})$  یا بر درجه سلسیوس  $(\frac{1}{C})$  است.

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند انبساط آنها را به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. انبساط حجمی مایع‌ها به سادگی قابل مشاهده است. در جدول ۱۰-۶ ضریب انبساط حجمی برخی مایع‌ها داده شده است.

جدول ۱۰-۶ – ضریب انبساط حجمی چند مایع

ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$	ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$	ماده
$1/10 \times 10^{-3}$	اسید استیک	$0/18 \times 10^{-3}$	جیوه
$1/25 \times 10^{-3}$	بنزن	$0/49 \times 10^{-3}$	گلیسیرین
$1/27 \times 10^{-3}$	کلروفرم	$0/70 \times 10^{-3}$	روغن زیتون
$1/43 \times 10^{-3}$	استون	$0/76 \times 10^{-3}$	پارافین
$1/60 \times 10^{-3}$	اتر معمولی	$1/00 \times 10^{-3}$	بنزین
$2/45 \times 10^{-3}$	آمونیاک	$1/09 \times 10^{-3}$	الکل اتیلیک

برای بیشتر جامد‌ها انبساط طولی در راستاهای مختلف با ضریب انبساط طولی یکسان صورت می‌گیرد<sup>۱</sup>. به همان روشی که در مثال ۱۰-۶ نشان دادیم، ثابت می‌شود که ضریب انبساط حجمی این جامد‌ها ۳ برابر ضریب انبساط طولی آنها است.

$$\beta_{\text{جامد}} = 3\alpha \quad (11-6)$$

با مقایسه ضریب انبساط حجمی جامد‌ها با ضریب انبساط حجمی مایعات جدول ۱۰-۶ نتیجه می‌گیریم انبساط حجمی جامد‌ها به مرتب کمتر از مایعات است.

۱- به چنین جامد‌هایی اصطلاحاً همسانگرد (ایزوتروپ) می‌گویند.

## مثال ۷-۱۰

حجم یک شمش آلومینیومی در دمای  $10^{\circ}\text{C}$ ، برابر  $1000\text{ cm}^3$  است. اگر دمای شمش را به  $100^{\circ}\text{C}$  برسانیم چقدر بر حجم آن افزوده می‌شود؟

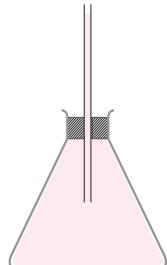
$$\beta = 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

پاسخ : با استفاده از جدول ۵-۶ و رابطه ۶-۱۱ داریم :

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (69 \times 10^{-6})(1000)(100 - 10) \approx 6\text{ cm}^3$$

حال با استفاده از رابطه ۶-۱۰ خواهیم داشت :

## مثال ۷-۱۱



ارلنی شیشه‌ای را که در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  گنجایشی برابر با  $200\text{ cm}^3$  دارد، مطابق شکل با گلیسیرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسیرین آن را به  $60^{\circ}\text{C}$  برسانیم، الف) آیا گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

ب) اگر پاسخ قسمت الف مثبت است، حجم گلیسیرین سرریز شده چقدر است؟

پاسخ : افزایش حجم گلیسیرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه ۶-۶ محاسبه

می‌کنیم :

$$\Delta V_{\text{گلیسیرین}} = \beta_{\text{گلیسیرین}} V_1 \Delta T = (49 \times 10^{-5})(200/0)(60 - 20) \approx 3/9\text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{ظرف}} V_1 \Delta T = (200/0)(3 \times 9 \times 10^{-6})(60 - 20) \approx 0/2\text{ cm}^3$$

چون افزایش حجم گلیسیرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسیرین از ظرف سرریز می‌شود. حجم گلیسیرین سرریز شده برابر است با :

$$\Delta V_{\text{ظرف}} - \Delta V_{\text{گلیسیرین}} = 3/9 - 0/2 = 3/7\text{ cm}^3$$

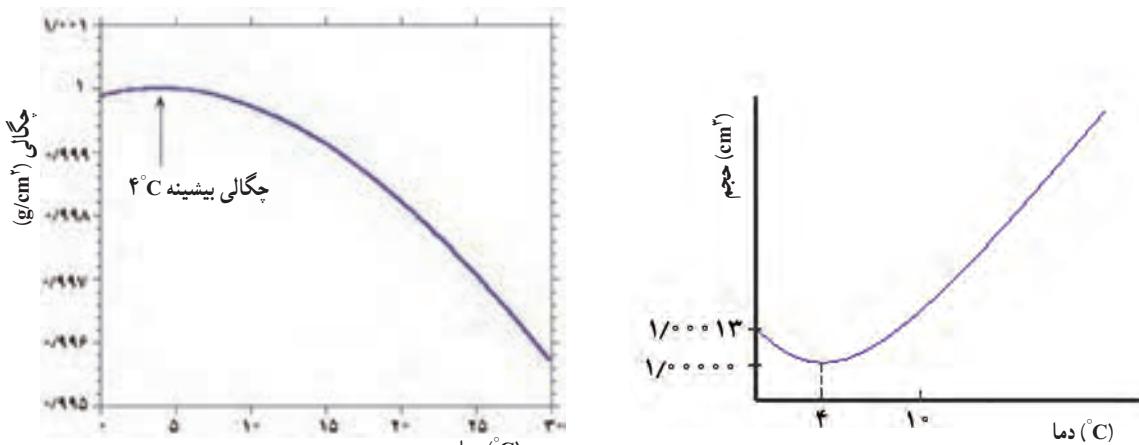
## فعالیت ۷-۱۱

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسیرین سرریز شده در مثال ۶-۱۶ را اندازه بگیرید. سپس مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده را با هم مقایسه کنید.

## فعالیت ۷-۱۲

افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه چگالی با تغییر دما ( $\rho_1 - \beta \Delta T = \rho_2$ ) است که در آن  $\rho_1$  و  $\rho_2$  به ترتیب چگالی ماده در دمای  $T_1$  و  $T_2$ ،  $\beta$  ضریب انبساط حجمی است. درستی این رابطه را تحقیق کنید.

**انبساط غیرعادی آب:** حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها، افزایش می‌یابد. ولی رفتار آب در محدوده دمایی  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ تا  ${}^{\circ}\text{C}$  متفاوت است. یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های ۷-۶-۷ الف و ب به ترتیب نمودار حجم بر حسب دما و نمودار چگالی بر حسب دما را برای آب شیرین نشان می‌دهد که در آنها رفتار غیرعادی آب در محدوده  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ تا  ${}^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود.



(ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما

(الف) تغییرات حجم آب (شیرین) با دما

شکل ۷-۶

### جدول ضریب انبساط حجمی آب

جدول رو به رو ضریب انبساط حجمی آب را در چند دمای مختلف نشان می‌دهد که در توافق با شکل‌های ۷-۶ الف و ب است و از روی آن می‌توان به رفتار غیرعادی آب در دماهای  ${}^{\circ}\text{C}$  ۰ تا  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ و رفتار طبیعی آن در دماهای بالاتر از  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ بی برد.

دما ( ${}^{\circ}\text{C}$ )	$\beta \left( \frac{1}{{}^{\circ}\text{C}} \right)$
۱	$-48 \times 10^{-6}$
۴	۰
۷	$45 \times 10^{-6}$
۱۰	$88 \times 10^{-6}$
۱۵	$151 \times 10^{-6}$
۲۰	$207 \times 10^{-6}$

همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می‌شود دریاچه‌ها به جای اینکه از پایین به بالا یخ بزند از بالا یخ بزند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از  ${}^{\circ}\text{C}$  ۱۰ کمی کمتر شود، چگالی آب، نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ ادامه می‌یابد. ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایین تر از  ${}^{\circ}\text{C}$  ۴ حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. یعنی سردشدن بیشتر آب موجب می‌شود که چگالی آب سطح دریا نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه یخ بزند. بنابراین در حالی که آب زیر دریاچه هنوز مایع است و دمایی بیش از صفر درجه دارد، سطح آب یخ می‌زند. اگر آب دریاچه‌ها از پایین به بالا یخ می‌زد،

اثرات زیست محیطی زیانبار فراوانی دری داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه ها از بین می رفت. افزون بر این، وجود لایه یخ در سطح دریاچه مانند یک عایق گرمایی عمل می کند و مانع سرد شدن آب عمق دریاچه می شود.

رفتار شکفت انگیز آب را می توان با ساختار غیرعادی شبکه بلوری یخ توضیح داد. می دانیم حجم اشغال شده با آرایش منظم مولکول ها در مقایسه با حجم اشغال شده با آرایش نامنظم همان مولکول ها کمتر است. مولکول های آب در بلور یخ طوری آرایش یافته اند که در بعضی نواحی، مولکول ها خیلی به هم نزدیک اند در حالی که در نواحی دیگر بین آنها فضای خالی وجود دارد (شکل ۶-۸). وقتی آب از بلور یخ به حالت مایع تبدیل می شود، برخلاف سایر اجسام، آرایش مولکول های آن یکنواخت تر می شود. یعنی فاصله بین مولکول هایی که خیلی به هم نزدیک بودند افزایش می یابد در حالی که فاصله بین مولکول هایی که فضای خالی میان آنها وجود داشت کم می شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می یابد. در محدوده دماهای خالی میان آنها وجود داشت کم می شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می یابد. در محدوده دماهای  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $4^{\circ}\text{C}$  بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز در آب وجود دارد و موجب رفتار غیرعادی آب می شود.



شکل ۶-۸ - نمایشی از آرایش مولکول های آب در بلور یخ

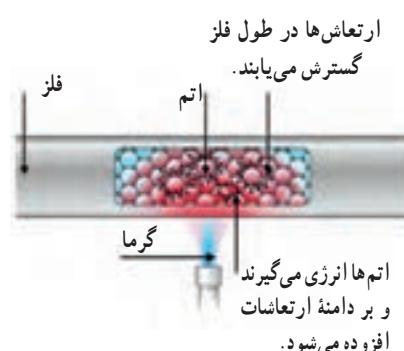
## ۶-۴ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین تر می شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می شود که عبارت اند از **رسانش گرمایی**، **هرفت** و **تابش گرمایی**. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این سازو کارها دخالت داشته باشند (شکل ۶-۹). انتقال گرما از جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می یابد که دو جسم همدما شوند و اصطلاحاً به تعادل گرمایی برسند. در ادامه به بررسی سازو کار های یک این روش ها می پردازیم.

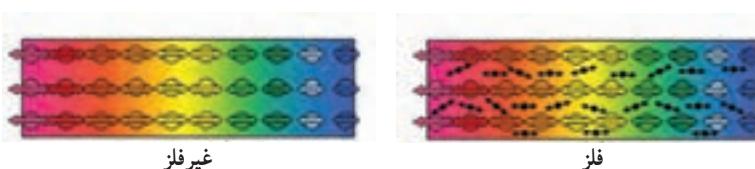
**رسانش:** بسیاری از ما این تجربه را داریم که انتهای قاشق فلزی درون ظرف غذای روی اجاق روشن را با دست گرفته و داغی آن را احساس کرده ایم. در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با انتقال گرما به روش رسانش آشنا شده ایم. در واقع ارتعاش اتم ها (شکل ۶-۱۰) و الکترون های آزاد در ناحیه گرم شده جسم موجب انتقال بخشی از انرژی آنها به اتم ها و الکترون های بسیار زیاد مجاور شان و در نتیجه انتقال گرما به روش رسانش می شود. رسانش گرما در مواد مختلف، متفاوت است. چون الکترون ها بسیار کوچک اند، به سرعت حرکت می کنند و با برخورد با سایر الکترون ها و اتم ها سبب رسانش گرمایی بسیار کوچک اند، به سرعت حرکت می کنند و با برخورد با سایر الکترون ها و اتم ها سبب رسانش گرمایی می شوند. بنابراین در رساناهای فلزی سهم الکترون های آزاد در رسانش گرمایی بیشتر از اتم هاست. در حالی که فلز ها رساناهای خوب گرما هستند، موادی مانند شیشه، چوب و آجر رساناهای چندان خوبی به شمار نمی روند (شکل ۶-۱۱). به همین دلیل از ماده های عایق مخصوصی در دیوارها و سقف بناها استفاده می کنند تا از خروج جریان گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.



شکل ۶-۹ - در این شکل، هر سه روش انتقال گرمایی در تصویری مشاهده می کنید.



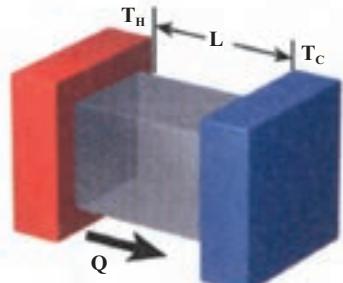
شکل ۶-۱۰ - ارتعاش اتم ها موجب انتقال انرژی گرمایی شده است.



شکل ۶-۱۱ - در رساناهای فلزی، الکترون های آزاد نقشی اساسی در رسانش گرمایی بازی می کنند.

برخی آشپزها برای آنکه سبب زمینی زودتر آب بز شود ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سبب زمینی می‌گذارند و بعد آن را در آب می‌اندازند و گرم می‌کنند. علت این کار آشپزها چیست؟

با شناسایی عوامل مؤثر بر انتقال گرما به روش رسانش می‌توانیم گرمای منتقل شده از یک سربه سردیگر میله‌ای را محاسبه کنیم.



شکل ۶-۱۲-۱- میله‌ای به طول  $L$  و مقطع  $A$  بین دو منبع با دمای  $T_C$  و  $T_H$  قرار گرفته است.

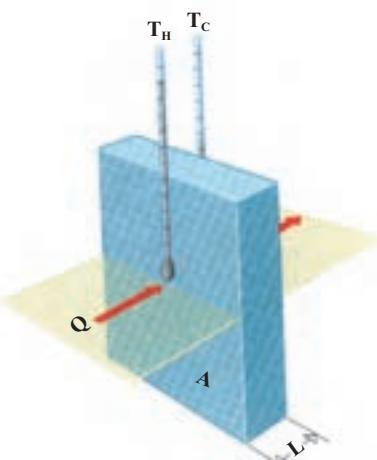
فرض کنید طول یک میله  $L$  و مساحت مقطع آن  $A$  باشد (شکل ۶-۱۲-۱). دمای انتهای سرد میله را  $T_C$  و دمای انتهای گرم میله را  $T_H$  می‌نامیم. گرمایی که در مدت زمان  $t$  از انتهای گرم میله به انتهای سرد آن شارش می‌یابد را با  $Q$  نشان می‌دهیم. نسبت  $\frac{Q}{t}$ ، آهنگ رسانش گرمایی نامیده می‌شود و آن را با  $H$  نشان می‌دهیم. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ رسانش گرمایی ( $H$ ) با مساحت مقطع میله ( $A$ ) و اختلاف دمای دو انتهای میله ( $T_H - T_C$ ) نسبت مستقیم و با طول میله ( $L$ ) نسبت وارون دارد، یعنی:

$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A(T_H - T_C)}{L} \quad (6-12)$$

در این رابطه،  $k$  رسانندگی گرمایی است که به جنس میله بستگی دارد. یکای رسانندگی گرمایی در SI،  $J/s.m.K$  یا  $W/m.K$  است. جدول ۶-۷ رسانندگی گرمایی برخی مواد را به دست می‌دهد.

$$\Delta T = T_H - T_C$$

$$T_H \quad T_C$$



شکل ۶-۱۳-۶- تیغه‌ای به طول  $L$

جدول ۶-۷- رسانندگی گرمایی برخی از مواد

رسانندگی گرمایی (W/m.K)	ماده	رسانندگی گرمایی (W/m.K)	ماده
۲	یخ	۰/۰۵	پشم شیشه
۲۵	سرب	۰/۰۴	چوب پنبه
۸۰	آهن	۰/۰۲۴	هوای خشک
۲۳۵	آلومینیم	۰/۰۲	انواع چوب
۴۲۰	نقره	۰/۶	آب
۴۰۰	مس	۰/۰۸	آجر
		۰/۰۶	انواع شیشه
		۱	

شکل ۶-۱۳-۶- تیغه‌ای به طول  $L$

و مقطع  $A$  بین دو منبع با دمای  $T_C$

و اگرچه رابطه ۶-۱۲ برای میله بیان شده است، ولی برای هر تیغه یا بُره‌ای با مساحت مقطع  $A$

و قرار گرفته است.

و ضخامت  $L$  نیز برقرار است (شکل ۶-۱۳).

## فعالیت ۱۶-۷



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

موهای خرس‌های قطبی توخالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگهداشتن بدن آنها در سرمای قطب دارد؟

## مثال ۱۷-۷

طول و عرض شیشه پنجره اتاقی  $m = 2/0$  و  $1/5$  m و ضخامت آن  $5\text{mm}$  است، در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوا بیرون است،  $C = -3^{\circ}\text{C}$  و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوا درون اتاق است،  $C = +2^{\circ}\text{C}$  است. آهنگ رسانش گرمایی از طریق شیشه چقدر است؟ پاسخ: با استفاده از رابطه  $Q = kA \Delta T$  داریم:

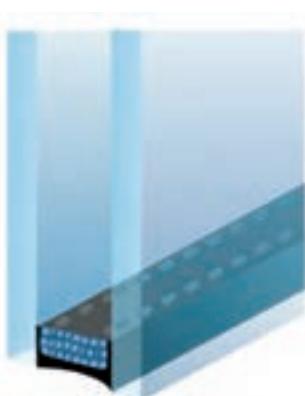
$$H = k \frac{A(T_H - T_C)}{L}$$

آنگاه با قرار دادن  $K = 1\text{W/m.K}$  آنرا محاسبه می‌کنیم:

$$H = 1 \times \frac{(3)(5)}{0/005} = 3000\text{W}$$

اگر بخواهیم با استفاده از یک بخاری بر قی گرمای هدر رفته از پنجره را جایگزین کنیم، توان گرمایی این بخاری  $3000\text{W}$  می‌شود.

## مثال ۱۸-۴



برای جلوگیری از اتلاف گرما در شیشه پنجره‌های معمولی، آنها را با شیشه‌های دوجداره با لایه میانی هوا جایگزین می‌کنند.

طول و عرض شیشه دوجداره پنجره اتاقی به ترتیب  $2\text{m}$  و  $1/5\text{m}$ ، ضخامت هر یک از دو لایه شیشه‌ای آن  $5\text{mm}$  و ضخامت لایه میانی هوا  $10\text{mm}$  است. در یک روز زمستانی، دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوا سرد بیرون اتاق است  $C = -3^{\circ}\text{C}$  و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوا گرم درون اتاق است  $C = +2^{\circ}\text{C}$  است. آهنگ رسانش گرمایی را در این حالت با عدد بدست آمده در مثال قبل مقایسه کنید. در این حالت می‌توان شیشه دوجداره را مانند تیغه یا برهای با همان مساحت و همان ضخامت در نظر گرفت که رسانندگی گرمایی مؤثر آن تقریباً با رسانندگی گرمایی هوا برابر است.

- ۱- حل درست مسائلی از این دست با فرض بکسان بودن آهنگ رسانش گرمایی در لایه‌های مختلف انجام می‌شود و به رابطه زیر می‌انجامد که تدریس آن موضوع کار این کتاب نیست، در مثال ۱۸-۶،  $n = 3$  است.

$$H = A \left( \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}} \right) (T_H - T_C)$$

**پاسخ:** با استفاده از رابطه ۶-۱۲ داریم:

$$H = k \frac{A(T_H - T_C)}{L}$$

$$H = 0.024 \times \frac{3 \times 5}{0.02} = 18 \text{ W}$$

آنگاه با قرار دادن مقادیر داده شده خواهیم داشت

در این محاسبه از رسانندگی گرمایی هوا،  $k = 0.024 \text{ W/m.K}$  استفاده شد.

همان طور که می بینید عدد به دست آمده، تفاوت زیادی (۱۶۷ بار کوچک‌تر) با عدد به دست آمده در مثال قبل دارد که این اهمیت استفاده از شیشه‌های دوجداره برای جلوگیری از اتلاف گرما را نشان می دهد.

**هرفت:** وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می گذاریم چطور همه آب آن در مدت نه‌چندان زیادی گرم می شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می کند؟ انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند به روش **هرفت**، یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که خواهیم دید این پدیده براثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می‌گیرد. انتقال گرما به روش هرفت را می‌توان به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش داد.

## آزمایش ۷



**وسیله‌های آزمایش:** لوله هرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پرمنگات پتاسیم یا جوهر، شعله گاز

### شرح آزمایش:

- ۱- لوله را از آب سرد پرکنید و به آرامی چند دانه پرمنگات پتاسیم (یا چند قطره جوهر) را از دهانه ظرف به داخل آن بریزید.
- ۲- یکی از شاخه‌های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخه قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.
- ۳- دستتان را از شاخه قائم بردارید و در حالی که گرمای دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخه قائم لوله را لمس کنید.
- ۴- مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هریک از مشاهدات را توضیح دهید.

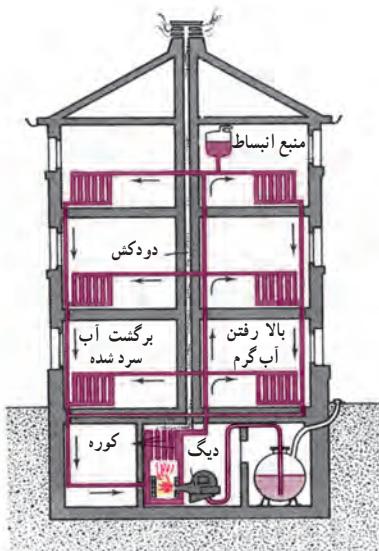
هرفت می‌تواند در همه شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بیرونند. در هرفت، برخلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال تکه‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و مولکول‌ها مسافت‌های طولانی را طی می‌کنند تا انرژی منتقل شود. وقتی شاره از زیر در تماس با منبعی گرم تراز خود قرار گیرد، مولکول‌های زیرین شاره حرکت می‌کنند و بیشتر از هم دور می‌شوند. چگالی این قسمت از

شاره کاهش می‌یابد و به بالا رانده می‌شود. شاره خنک تر و چگال‌تر پایین می‌آید و جای شاره گرم شده را می‌گیرد و به این ترتیب جریان‌های هم‌رفتی به وجود می‌آیند. گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیله بخاری یا شومینه (شکل ۱۴-۶)، جریان‌های باد ساحلی (شکل ۱۵-۶)، گرم شدن آب درون قابل‌نمایش (شکل ۱۶-۶)، انتقال گرما از کوره هسته‌ای واقع در مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی برای پدیده هم‌رفت رخ می‌دهند. همه این مثال‌ها نمونه‌هایی از **هم‌رفت طبیعی** است.

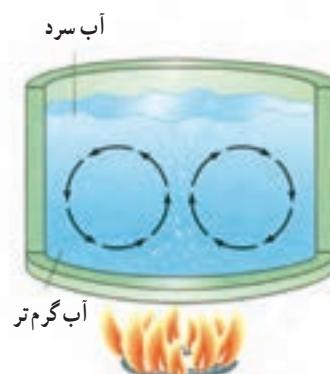
نوع دیگری از هم‌رفت، **هم‌رفت واداشته** است که در آن شاره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به چرخش واداشته می‌شود تا این چرخش انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها (شکل ۱۷-۶)، سیستم خنک‌کننده موتور اتومبیل، دستگاه گردش خون در بدن جانوران خونگرم و ... مثال‌هایی از انتقال گرما به روش هم‌رفت واداشته هستند.



شکل ۱۴-۶—گرم شدن هوای اتاق به روش هم‌رفت



شکل ۱۶-۶—گرم شدن آب درون قابل‌نمایش به روش هم‌رفت



شکل ۱۵-۶—جریان‌های باد ساحلی در شب و روز، ناشی از پدیده هم‌رفت. به جهت چرخش روزی توجه کنید.

**وارونگی هوا<sup>۱</sup>**: وارونگی هوا که معمولاً در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان شروع می‌شود پیامد توقف هم‌رفت طبیعی در جو زمین است. در چنین شب‌هایی لایه هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایه هوای گرم بالاتر قرار می‌گیرد. این لایه هوای گرم، پیش از این برای پدیده هم‌رفت در یک روز معمولی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایه هوای سرد مجاور زمین آن را چگال‌تر از هوای سردی می‌کند که در شرایط طبیعی به پایین رانده می‌شود (شکل ۱۸-۶ الف) و

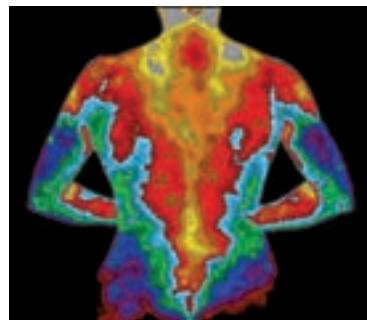
مثاله آزاد

بدین ترتیب مانع از چرخش هوا براثر پدیده همرفت می‌شود. در این وضعیت گرد و غبار و گازهای آلاینده شهری واقع در لایه هوای سرد مجاور زمین در این لایه حبس می‌شوند (شکل ۱۸-۶ ب). به این پدیده **وارونگی هوا** می‌گویند. وارونگی هوا تا وقتی تداوم دارد که براثر وزیدن باد لایه‌های هوای سرد و گرم جابه‌جا شود یا با افزایش دمای قابل توجه لایه سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جو زمین از سرگرفته شود. با توجه به اینکه در این پدیده الگوی تغییرات دما در یک روز طبیعی برهمنمی خورد به آن وارونگی دما نیز گفته شده است.

شکل ۱۸-۶-وارونگی هوا باعث می‌شود گرد و غبار و گازهای آلاینده که عمدتاً ناشی از تردد خودروها است در هوای سرد مجاور زمین حبس شوند. همرفت طبیعی، در حالت عادی باعث پراکندگی گرد و غبار و گازهای آلاینده می‌شود.



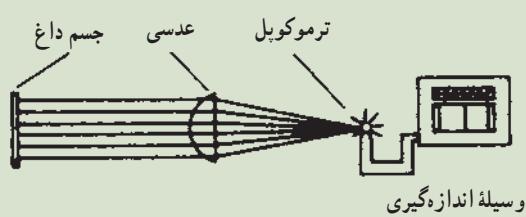
**تابش گرمایی:** همه ما تجربه گرم شدن در نور خورشید را داریم. با تزدیک کردن دستمان به اجسام گرمی مانند کتری روی اجاق روشن یا رادیاتور گرم شو فاز نیز تجربه مشابهی خواهیم داشت. دست خود را زیر صفحه اتوی روشنی نگهدارید؛ دست شما گرم می‌شود. آیا گرما با روش رسانش یا همرفت از اتو به دستتان رسیده است؟ می‌دانید که هوا رسانای خوبی نیست و چون دست شما زیر اتو قرار دارد انتقال گرما به روش همرفت نیز نمی‌تواند رخ داده باشد. خورشید، اتوی داغ، کتری، رادیاتور شو فاز و ... از خود پرتوهایی گسیل می‌کنند که دست ما با جذب کردن آن گرم می‌شود. این پرتوها از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند که در درس فیزیک سال آخر دیبرستان با آنها بیشتر آشنا می‌شوید و خواهید دید که تولید امواج الکترومغناطیسی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. یکی از این روش‌ها تابش الکترومغناطیسی جسم به دلیل دمای آن است. در واقع هر جسم می‌تواند از خود تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که شدت و بسامد این تابش به دمای جسم بستگی دارد و به همین دلیل آن را **تابش گرمایی** می‌نامیم. مثلاً سطح بدن یک فرد معمولی در محیطی با دمای  $22^{\circ}\text{C}$  تابشی گرمایی با آهنگی در حدود  $100\text{ W}$  دارد (شکل ۱۹-۶) در دماهای متداول، اجسام معمولاً تابش فروسرخ دارند. این نوع انتقال گرما به محیط مادی نیاز ندارد و با سرعت نور در خلا متنشر می‌شود. تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۱۹-۶). سطوح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است. تفسیج‌های تابشی یکی از وسائل اندازه‌گیری دما برای اجسام داغ هستند که اساس کار آنها بر تابش گرمایی گسیل شده از سطح اجسام بنایded است.



شکل ۱۹-۶- بدن یک شخص معمولی با آهنگی در حدود  $100\text{ W}$  تابش گرمایی می‌کند.



شکل ۱۹-۷- درون مکعب‌سیلی آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه جانبی مکعب، که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.

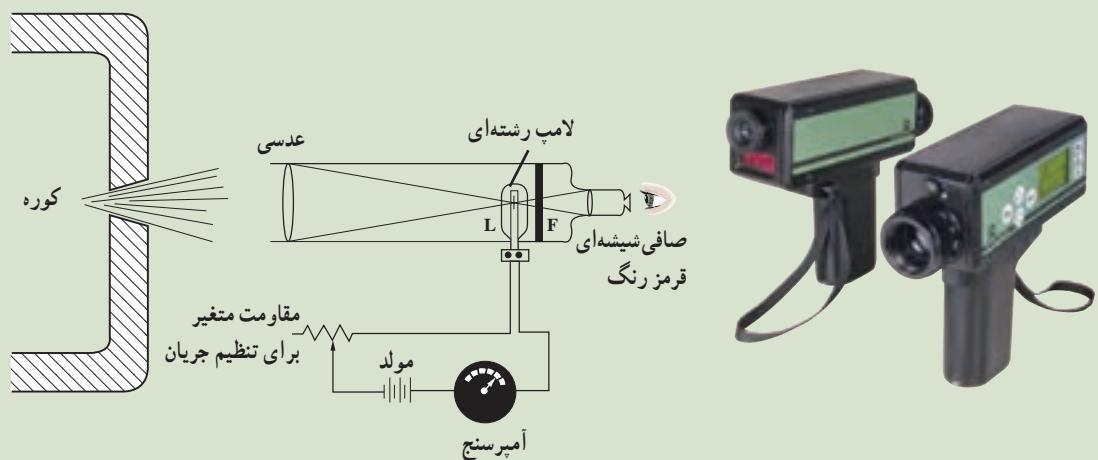


(الف) تفسنج تابشی و طرحی از ساختار آن

**تَفَسِّنْج (پِيرُومِتِر)**: نفسنجهای دماسنجهای هستند که براساس تابش حاصل از اجسام طراحی شده‌اند. اهمیت نفسنجهای در این است که برخلاف سایر دماسنجهای بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرند. دو نوع معروف این دماسنجهای، عبارت‌اند از تفسنج تابشی و تفسنج نوری.

**(الف) تَفَسِّنْج تابشی**: این تفسنج وسیله‌ای است که دمای جسم داغ را با متمرکز کردن تابش گرمایی گسیل شده از جسم روی یک ترموموکوپل یا آرایه‌ای از ترموموکوپل‌ها اندازه می‌گیرد. می‌توان دمای جسم را از روی جریان خروجی ترموموکوپل تعیین کرد.

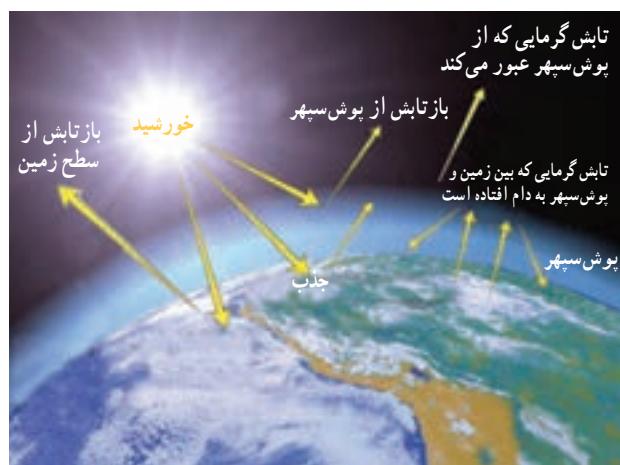
**(ب) تَفَسِّنْج نوری**: این تفسنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دمای اجسام خیلی داغ که تابشی مرئی دارند (مانند کوره‌ها) به کار می‌رود. اساس کار این تفسنج، مقایسه رنگ و شدت نور تابیده از جسم داغ، با رنگ و شدت نور یک لامپ رشتہ‌ای است. نور تابیده از جسم داغ، توسط یک عدسی روی رشتہ لامپ متمرکز می‌شود و ناظر که از طریق یک دوربین رشتہ ملتئب لامپ را در زمینه نور حاصل از جسم داغ می‌بیند، شدت جریان لامپ را آنقدر تغییر می‌دهد تا روشنایی لامپ برابر روشنایی زمینه شود، به‌طوری که رشتہ لامپ محو شود. با اندازه‌گیری این جریان می‌توان دمای جسم داغ را تعیین کرد.



(ب) تفسنج نوری و طرحی از ساختار آن

### اثر گلخانه‌ای<sup>۱</sup> : بخشی از نور خورشید با عبور از جو زمین به سطح آن می‌رسد. بخش عمدهٔ

این نور جذب زمین می‌شود، زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند  $\text{CO}_2$ ، بخار آب و متان ( $\text{CH}_4$ ) – که مولکول‌های جذب‌کننده بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند – در لایه پوش‌سپهر (استراتوسفر) جو زمین (لایه‌ای حدوداً در فاصله ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین) باعث کرد شدن این لایه برای تابش‌های فروسرخ می‌شود. این لایه بیشتر تابش گرمایی حاصل از زمین را جذب می‌کند. خود این لایه نیز تابش گرمایی می‌کند. بخشی از تابش گرمایی لایه پوش‌سپهر از جو خارج می‌شود، ولی بیشتر آن به زمین بازمی‌گردد و به این ترتیب رفت و برگشتی از تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین رخ می‌دهد. در تشابه با گلخانه‌ها که با ایجاد محیطی محصور مانع از جریان هوا و خروج هوا از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به دام افتادن تابش گرمایی بین لایه پوش‌سپهر و سطح زمین اثر گلخانه‌ای و به گازهای موجود در لایه پوش‌سپهر که سبب این پدیده می‌شوند گازهای گلخانه‌ای می‌گویند. اگر لایه پوش‌سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود  $18^{\circ}\text{C}$  می‌شد ولی اینک این دما در حدود  $15^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}$  است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود  $33^{\circ}\text{C}$  به دمای میانگین سطح زمین افزوده است (شکل ۲۱-۶).



شکل ۲۱-۶ – جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در پوش‌سپهر، اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود و بدین ترتیب دمای زمین افزایش می‌یابد. در چند دهه اخیر به دلیل فعالیت‌های مختلف صنعتی و افزایش آلاینده‌هایی مثل  $\text{CO}_2$  در جو زمین، غلظت گازهای گلخانه‌ای در لایه پوش‌سپهر زیادتر از قبل شده و دمای سطح زمین بالا رفته است.

خوب است بدانید که همواره در حالت تعادل، انرژی تابشی جذب شده توسط سطح زمین با انرژی تابشی گسیل شده از آن (بازتابش و تابش گرمایی) برابر است. همین برابری در خارجی‌ترین سطح جو زمین نیز وجود دارد. جذب و گسیل انرژی تابشی در درون خود جو نیز برابر است.

<sup>۱</sup>Greenhouse effect

### قانون گازهای کامل (آرمانی) :

به گاز درون یک ظرف درسته، مثلاً گاز درون یک قوطی اسپری خوشبوکننده فکر نکند. با داغ کردن این گاز، جنبش مولکولی در آن بسیار زیاد می‌شود و فشار وارد از گاز به دیواره‌های ظرف افزایش می‌یابد و این می‌تواند موجب ترکیدن ظرف شود. اگر در یک بطری نوشابهٔ پلاستیکی و توخالی را بیندیم و آن را درون جایخی یخچال بگذاریم، پس از مدتی بطری مچاله می‌شود. شکل ۲۲-۶ مخزنی را نشان می‌دهد که به همین دلیل مچاله شده است. شکل ۲۳-۶ یک اسباب بازی را نشان می‌دهد که مخزن کوچک شیشه‌ای آن تا نیمه از یک مایع رنگی پرشده است. وقتی مخزن شیشه‌ای را در دستان خود بگیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمة خالی مخزن زیاد می‌شود و سطح مایع را به طرف پایین می‌راند. این امر سبب می‌شود مایع در لوله باریک و ماربیچ بالا رود. هرچه دستان شما گرم‌تر باشد و بهتر مخزن شیشه‌ای را دربرگیرد، مایع در لوله باریک بیشتر بالا می‌رود.

دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گیلوساک و ... تلاش‌های بسیاری کرده‌اند تا رابطهٔ بین فشار، حجم و دمای مقدار معینی گاز درون یک محفظه را بیابند. شکل ۲۴-۶ استوانه (سیلندر) مدرّجی را نشان می‌دهد که مقداری گاز در آن محبوس شده است. گاز، زیر پیستونی قرار دارد که می‌تواند به راحتی درون استوانه بالا و پایین برود. دماسنچ و فشارسنجی، دما و فشار گاز را نشان می‌دهند و حجم گاز نیز از درجه‌بندی روی بدنهٔ استوانه معلوم می‌شود. برای گرم یا سرد کردن گاز درون استوانه می‌توانیم دستگاه را در محیطی سرد یا گرم قرار دهیم و همچنین با جابه‌جا کردن پیستون می‌توان حجم گاز را به میزان دلخواه تغییر داد.

اگر گاز درون محفظه به اندازهٔ کافی رقیق و یا چگالی آن به حد کافی کم باشد، یعنی مولکول‌های گاز آنقدر از هم دور باشند که با هم برهم کنش نداشته باشند، گاز را کامل (آرمانی) می‌نامیم. اگر تعداد مول‌های گاز کامل درون ظرفی ثابت باشد، نسبت حاصل ضرب فشار در حجم به دمای مطلق گاز، مقدار ثابتی است، یعنی  $\frac{PV}{T}$  برای آن تغییر نمی‌کند. به عبارتی دیگر، اگر فشار، حجم و دمای گاز کامل در یک حالت به ترتیب  $P_1$ ,  $V_1$  و  $T_1$  و در حالتی دیگر به ترتیب  $P_2$ ,  $V_2$  و  $T_2$  باشد، داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots \quad (13-6)$$

گوچه رابطه ۱۳-۶ برای گازهای کامل (آرمانی) برقرار است ولی برای گازهای واقعی که چگالی آنها به حد کافی کم باشد نیز با دقت نسبتاً خوبی برقرار است. در این رابطه P فشار مطلق گاز (نه فشار پیمانه‌ای) و دما بر حسب کلوین است.



شکل ۲۲-۶— سرد شدن هوا درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه مچاله شدن مخزن شده است.



شکل ۲۳-۶— با در دست گرفتن حباب شیشه‌ای و گرم کردن آن، مایع رنگی در لوله ماربیچ بالا می‌رود.



شکل ۲۴-۶— دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل

با وجود تلاش در جهت ثابت نگهداشت فشار هوای درون هواپیما، مقدار آن همواره کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوای کم می‌شود، بسته‌های نوشیدنی یا دسیر باد می‌کنند و حتی گاهی در شان باز می‌شود. با فرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

## مثال ۱۴-۷

زیر پیستون یک سیلندر، هوایی با حجم  $120\text{ cm}^3$  و فشار یک اتمسفر وجود دارد. با فشردن پیستون، حجم هوای محبوس را به  $20\text{ cm}^3$  می‌رسانیم، در حالی که دمای آن را ثابت نگهداشتیم. اکنون فشار هوای چقدر است؟ (هوای محبوس درون سیلندر را گاز کامل فرض کنید).

**پاسخ :** چون دما ثابت است، داریم :

$$T_1 = T_2$$

و در نتیجه رابطه (۱۳-۶) به صورت زیر در می‌آید :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

این رابطه که آن را حدود  $35^\circ$  سال پیش [را برت بویل](#)<sup>۱</sup> انگلیسی و [امه ماریوت](#)<sup>۲</sup> فرانسوی مستقل از هم به دست آورده‌اند، به [قانون بویل - ماریوت](#) مشهور است.

در این مثال  $P_1 = 1\text{ atm}$  و  $V_1 = 120\text{ cm}^3$ ،  $P_2 = ?$  و  $V_2 = 20\text{ cm}^3$  داریم :  $(1)(120) = P_2(20)$  و از آنجا  $P_2 = 6\text{ atm}$  می‌شود.

## فعالیت ۱۴-۸

برای بررسی درستی قانون بویل - ماریوت آزمایشی را طراحی کنید.

## مثال ۱۴-۸

در آزمایشی، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از  $27^\circ\text{C}$  به  $87^\circ\text{C}$  می‌رسانیم. اگر حجم گاز ابتدا  $2/0$  لیتر باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

**پاسخ :** در این آزمایش فشار ثابت مانده است، یعنی

$$P_1 = P_2$$

بنابراین رابطه (۱۳-۶) به صورت زیر در می‌آید :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

۱ - Robert Boyle (1627 – 1691)

۲ - Edme Mariotte (1620 – 1684)

این رابطه را در حدود ۲۰ سال پیش **ژاک شارل**<sup>۱</sup> و **ژورف گی - لوساک**<sup>۲</sup> به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون **شارل - گی لوساک** معروف است.

با استفاده از داده های این مثال داریم :

$$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K} \quad V_1 = 2/\text{liter}$$

$$T_2 = 87 + 273 = 360 \text{ K} \quad V_2 = ?$$

بنابراین داریم :

$$\frac{2/\text{}}{300} = \frac{V_2}{360}$$

و در نتیجه  $V_2 = 2/4 \text{ liter}$  می شود.

## فعالیت ۶

سر سرنگی شیشه ای (که پیشتر آن آزادانه حرکت می کند) را بسته و آن را درون ظرف آبی می گذاریم. توضیح دهید با روشن کردن چراغ زیر ظرف، هر یک از کمیت های دما، حجم و فشار هوای درون سرنگ چگونه تغییر می کند؟

## مثال ۴

درون استوانه ای ۱۲ لیتر گاز اکسیژن با دمای  $7^\circ\text{C}$  وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشار سنجی اندازه می گیریم. فشار سنج  $14 \text{ atm}$  را نشان می دهد. دمای گاز را به  $27^\circ\text{C}$  و حجم آن را به ۲۵ لیتر می رسانیم. فشاری که فشار سنج در پایان نشان می دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه  $1 \text{ atm}$  است و فرض کنید گاز درون محفظه، گاز کامل است. پاسخ : می دانیم فشار سنج، فشار پیمانه ای (سنجه ای) را نشان می دهد و در قانون گازهای کامل باید از فشار مطلق استفاده کنیم. بنابراین :

$$\begin{cases} P_1 = P_{g_1} + P_0 = 14 + 1 = 15 \text{ atm} \\ V_1 = 12 \text{ liter} \\ T_1 = \theta_1 + 273 = 7 + 273 = 28^\circ\text{K} \end{cases} \quad \begin{cases} P_2 = ? \\ V_2 = 25 \text{ liter} \\ T_2 = \theta_2 + 273 = 27 + 273 = 35^\circ\text{K} \end{cases}$$

با توجه به قانون گازهای کامل داریم :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{15 \times 12}{28^\circ} = \frac{P_2 \times 25}{35^\circ} \Rightarrow P_2 = 9 \text{ atm}$$

$$P_{g_2} = P_2 - P_0 = 9 - 1 = 8 \text{ atm}$$

بنابراین فشاری که اکنون فشار سنج نشان می دهد برابر است با

۱—Jacques A.S. Charles (1746 – 1823)

۲—Josef Gay – Lussac (1778 – 1850)

## اسماعیل جزّری

بدیع الرّمَان ابوالعزّ اسماعیل بن رَاز جزری مشهور به اسماعیل جزری از مهندسان به نام اسلام در سده ششم هجری قمری است. تنها اثر به جامانده از او کتابی به نام «الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل» که به اختصار «الحیل»

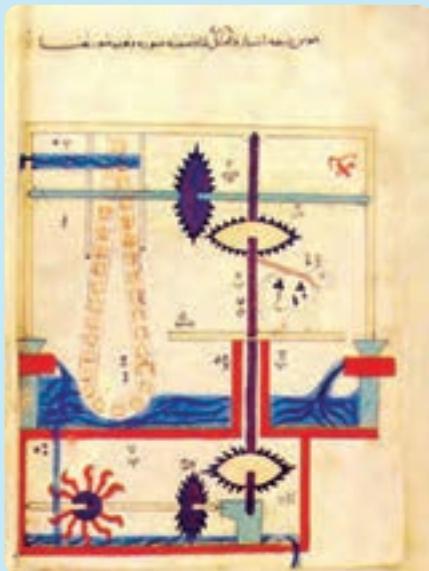
نیز نامیده شده است. این کتاب به زبان عربی است و سندي مهم در تاریخ فناوری محسوب می‌شود. مختصر اطلاعاتی که از زندگانی جزری در اختیار داریم مبتنی بر مطالب خود او در مقدمه کتابش است. تاریخ تولد او مشخص نیست، ولی از قرایین چنین برمی‌آید که او در بین جمادی الآخر و شعبان سال ٦٠٢ هجری قمری درگذشته است. در مورد نژاد و قومیت او نیز در منابع چیزی نمی‌توان یافت ولی با توجه به نام عربی او و قرائی آن زمان فرض می‌شود که وی عرب بوده است، هرچند فرضیه‌هایی در مورد آشوری، ایرانی، ترک یا گرد بودن وی نیز وجود دارد.

جزری در شهر «آمد» می‌زیست که فرمانروایان آن در دیار بکر حکومت می‌کردند و همان‌طور که در مقدمه کتاب خود آورده است، کتاب «الحیل» را به دستور ناصرالدین محمود فرمانروای آن ملک، و بین سال‌های ٥٩٧ تا ٦٠٢ هجری قمری نوشته است. کتاب «الحیل» یکی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین کتاب‌های مهندسی مکانیک در تاریخ تمدن اسلامی محسوب می‌شود. کتاب به شش بخش تقسیم می‌شود. بخش اول شامل شرح شش نوع ساعت آفتابی و چهار ساعت شمعی؛ بخش دوم شرح ده دستگاه خودکار توزیع نوشیدنی؛ بخش سوم شرح چهار آفتابه

و ظرف خودکار برای ریختن آب و شستشوی دست و شش تشت اندازه‌گیری خون هنگام رگ‌زنی؛ بخش چهارم شرح شش فواره است که در فاصله‌های زمانی مشخصی به طور خودکار تغییر شکل می‌دهند؛ بخش پنجم شرح پنج دستگاه آب‌کشی از آبگیر و بخش ششم شامل توصیفی از دری است که از برنج ریخته گری شده ساخته بود و نیز شرح وسیله‌ای هندسی برای یافتن مرکز دایره گذرنده بر هر سه نقطه دلخواه واقع بر یک صفحه یا سطح یک کره است.

جزری برای هر دستگاه یک تصویر اصلی رسم کرده است که نشان‌دهنده شکل کلی دستگاه است. مثلاً شکل رو به رو تصویری از دستگاهی است که برای بالا آوردن آب آبگیر یک چاه به کمک یک چارپا در این کتاب رسم شده است. واضح است برای طراحی این دستگاه به محاسبات

دقیقی نیاز است، از جمله قطر چرخ‌ندها، تعداد چرخ‌ندها، استحکام چرخ‌ندها و محورها و بھویزه بار ناشی از وزن آب درون ملاقه‌ها که نخست به محور و از آنجا به چرخ‌نده‌های آن و سپس به چرخ‌نده‌های قطاعی وارد می‌شود. البته مهندسان آن دوره روش ترسیم سه‌بعدی تصاویر را نمی‌دانستند و رسم فنی به شکل امروزی وجود نداشت، ولی این نقص مانع از درک عملکرد دستگاه‌های کتاب نمی‌شود و دستگاه‌هایی که در این کتاب توضیح داده شده است همگی از نظر فنی درست و قابل ساخت‌اند و سه نمونه از آنها در جشنواره جهانی اسلام در سال ١٩٧٦ (١٣٥٥ هجری شمسی) بهنمایش درآمده است. در کتاب جزری واژه‌ها و اصطلاحات فنی بسیاری به زبان فارسی وجود دارد که نشان‌دهنده تأثیر عمیق ایرانیان بر فناوری جهان اسلام است.



## پرسش‌های فصل ششم

۱ هنگامی که با دماسنجد جیوه‌ای دمای آبی را اندازه می‌گیرید، موقع خواندن دما، باید مخزن دماسنجد حتماً درون آب باشد، ولی وقتی پزشک دمای بدن بیمار را اندازه می‌گیرد، دماسنجد را از محل تماس با بدن بیمار دور می‌کند، بعد دمای را می‌خواند. چه تفاوتی بین دماسنجد پزشکی و دماسنجد جیوه‌ای معمولی وجود دارد که این روش اندازه‌گیری را توجیه می‌کند؟

۲ کدام گزینه‌ها دربارهٔ ذوب درست است؟

الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر موارد، سبب پایین‌رفتن نقطهٔ ذوب می‌شود.

ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب افزایش نقطهٔ ذوب آن می‌شود.

پ) فرایند ذوب، عملی گرم‌آگیر است.

ت) گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.

ث) دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطهٔ ذوب رسیده است، آن را ذوب می‌کند.

۳ یکی از روش‌های بالابدن دمای یک جسم، دادن گرمایی به آن است. اگر به جسمی گرمایی دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.

۴ قبل از تزریق دارو یا سرمه یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.

۵ چرا سطح بیرونی بطری نوشابه سرد، در هوای گرم عرق می‌کند؟

۶ الف) آیا می‌توان یخ را بدون آنکه ذوب شود تا دمایی بالاتر از  ${}^{\circ}\text{C}$  گرم کرد؟

ب) آیا می‌توان آب را بدون آنکه یخ بیندد، تا دمایی پایین‌تر از  ${}^{\circ}\text{C}$  سرد کرد؟

۷ برای خنک کردن موتور اتومبیل لازم است مایعی نظیر مخلوط ضد یخ با آب و یا آب معمولی در اطراف سیلندر و درون حفره‌های سیلندر گردش کند. بهتر است گرمای ویژهٔ مایع کم باشد یا زیاد؟ چرا؟ چه عوامل دیگری نیز می‌تواند دارای اهمیت باشند؟

۸ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجهٔ آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت پیشتری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

## مسائل فصل ششم

۱ دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس مشخص کنید:

الف) K  $273^{\circ}$       ب) K  $546^{\circ}$

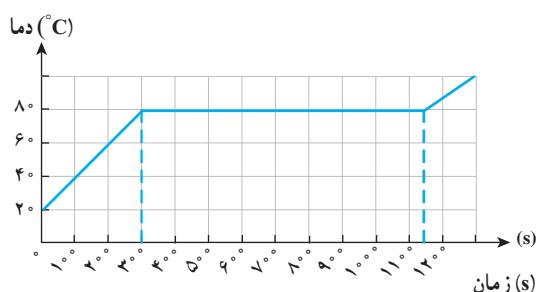
الف) هنگامی که  $1\text{ kg}$  آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب  ${}^{\circ}\text{C} 30$  بالا می‌رود.

الف) توان متوسط گرمکن را حساب کنید.

ب) اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن را چقدر افزایش خواهد داد؟

۳ دمای یک قطعه فلز  $6\%$  کیلوگرمی را توسط یک گرمکن  $5\text{W}$  اتی در  $11^\circ\text{C}$  از  $18^\circ\text{C}$  به  $38^\circ\text{C}$  رسانده ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را ارائه می دهد؟ حس می زند که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیشتر است یا کمتر؟ توضیح دهید.

۴ گرماسنجی به جرم  $20\text{g}$  از مس ساخته شده است. یک قطعه  $8\text{g}$  گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با  $5\text{g}$  آب به درون گرماسنج ریخته می شود. دمای این مجموعه  $30^\circ\text{C}$  است. در این هنگام  $10\text{g}$  آب  $7^\circ\text{C}$  به گرماسنج اضافه می شود، دمای تعادل  $52^\circ\text{C}$  می شود. گرمای ویژه ماده نامعلوم را محاسبه کنید.



۵ به یک جسم جامد  $5\text{kg}$  کیلوگرمی توسط یک گرمکن  $100\text{W}$  اتی گرمای می دهیم. منحنی تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل رو به رو نشان داده شده است.

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 ذوب آن را محاسبه کنید.

۶ گرمکنی در هر ثانیه  $200\text{J}$  را از پیش فراهم می کند. چه مدت زمان طول می کشد تا این گرمکن  $1\text{kg}$  کیلوگرم آب  $100^\circ\text{C}$  را به بخار آب  $100^\circ\text{C}$  تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی، چه مقدار پیخ  $100^\circ\text{C}$  را به آب  $0^\circ\text{C}$  می تواند تبدیل کند؟

۷ یک گرمکن که با آهنگ ثابت  $50\text{W}$  اتی از پیش فراهم می کند، به طور کامل در یک قطعه پیخ بزرگ با دمای  $0^\circ\text{C}$  گذاشته شده است. در مدت  $1320\text{s}$  ثانیه،  $2\text{kg}$  کیلوگرم آب با دمای  $0^\circ\text{C}$  تولید می شود. گرمای نهان ویژه ذوب پیخ را حساب کنید.

۸ یک گرمکن  $5\text{W}$  اتی غوطه ور در آب به طور کامل در  $100^\circ\text{C}$  گرم آب به 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  $2\text{kg}$  آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۹ یک ماده فولادی ابتدا تا دمای  $80^\circ\text{C}$  گرم شده و سپس در روغنی به جرم  $2\text{kg}$  و دمای  $10^\circ\text{C}$  فرو برد می شود. درنتیجه، دمای روغن به  $40^\circ\text{C}$  می رسد. با فرض آنکه دمای ماده فولادی درست پیش از ورود به روغن به اندازه  $20^\circ\text{C}$  کم شده باشد، جرم آن چقدر بوده است؟ گرمای ویژه فولاد و روغن به ترتیب برابر با  $K_f = 63\text{kJ/kg}$  و  $K_g = 1/9\text{kJ/kg}$  است.

۱۰ برآثر افزایش دما به اندازه  $32^\circ\text{C}$ ، میله ای که در مرکز آن شکافی وجود دارد به بالا تاب می خورد.  
اگر فاصله ثابت  $L_0 = 3/77\text{m}$  و ضریب انبساط خطی میله  $C = 25 \times 10^{-6}^\circ\text{C}$  باشد، بالارفتگی  $x$  مرکز میله چقدر است؟

۱۱ با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی درجدول ۶-۵، انبساط تیر فولادی با طول اولیه  $25\text{m}$  متر، درآثر افزایش دما از  $10^\circ\text{C}$  تا  $30^\circ\text{C}$  را حساب کنید.

۱۲ با استفاده از جدول ۶-۵ حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می شود که طول یک خط کش  $5/5\text{m}$  برنجی  $1/1\text{m}$  میلی متر افزایش یابد.

۱۳ طول‌های یک سیم آهنی و یک سیم مسی در دمای  $C = 20^\circ\text{C}$  باهم یکسان و برابر  $10\text{ m}$  است. آیا در دمای  $C = 60^\circ\text{C}$  اختلافی در طول سیم‌ها مشاهده می‌شود؟ اگر پاسخ مثبت است مقدار آن را بدست آورید.

۱۴ مقداری نفت خام در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع  $h = 10\text{ m}$  ریخته شده است. در دمای  $C = 10^\circ\text{C}$  فاصله بین سطح نفت تا بالای ظرف برابر  $\Delta h = 5\text{ cm}$  است. ضریب انبساط حجمی نفت  $\beta = 10^{-3}\text{ K}^{-1}$  است. اگر از انبساط دیواره ظرف در حین افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی نفت از ظرف سرریزی می‌شود؟

۱۵ در روزی که دما  $C = 25^\circ\text{C}$  است برای پنجره‌ای، شیشه‌ای به طول  $6\text{ m}$  انداخته شد. برای پیش‌بینی انبساط شیشه، فاصله کوچکی به اندازه  $1/35$  میلی‌متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما  $C = 25^\circ\text{C}$  است مشاهده می‌شود که این فاصله از پیش رفته است. با چشم‌پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۶ شیشه پنجره‌ای دارای عرض  $2\text{ m}$ ، ارتفاع  $1\text{ m}$  و ضخامت  $4\text{ mm}$  است.

(الف) در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون است برابر  $C = 20^\circ\text{C}$  و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم داخل اتاق است  $C = 7^\circ\text{C}$  است. چه مقدار گرما در هر ثانیه از طریق شیشه به بیرون اتاق انتقال پیدا می‌کند؟

(ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می‌شود؟

(پ) اگر در طول سال اختلاف دمای دو وجه شیشه به طور متوسط  $C = 3^\circ\text{C}$  باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می‌شود؟

۱۷ گازی در دمای  $C = 20^\circ\text{C}$  دارای حجم  $V = 100\text{ cm}^3$  است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت  $P = 200\text{ cm}^3$  شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم  $V = 50\text{ cm}^3$  خواهد شد؟

۱۸ هوایی با فشار یک اتمسفر درون استوانه یک تلمبه دوچرخه به طول  $L = 24\text{ cm}$  محبوس است.

(الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به  $30\text{ cm}$  افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چه قدر خواهد شد؟

(ب) برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس  $3$  اتمسفر شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

۱۹ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوای  $C = 17^\circ\text{C}$  است فشار اندازه‌گیری شده در لاستیک  $2$  اتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل رانی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌شود که فشار  $2/3$  اتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است (حجم لاستیک را ثابت بگیرید)؟

۲۰ در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم کنترل دمای بدن است.

(الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم  $m = 50\text{ kg}$  را،  $T = 37^\circ\text{C}$  سردر کند؟ گرمای تبخیر آب در دمای بدن ( $C = 37^\circ\text{C}$ ) برابر  $J/kg = 2 \times 10^4$  و گرمای ویرثه بدن در حدود  $K = 3480\text{ J/kg}$  است.

(ب) حجم آبی را که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، حساب کنید.

۲۱ در آزمایشی جرم‌های مساوی از سرب و آلیاژ سرب – قلع (لحیم) سرد شده است و نمودارهای تغییر دما بر حسب زمان به صورت شکل زیر است.

(الف) حالت فیزیکی سرب را پس از  $30$  ثانیه نام بیرید.

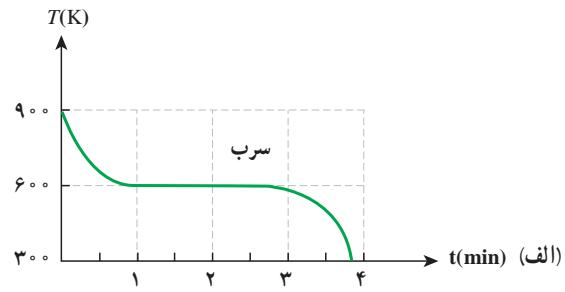
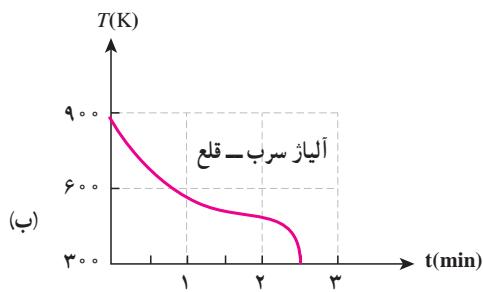
(ب) چه پدیده‌ای در دمای  $K = 60^\circ\text{C}$  برای سرب روی می‌دهد؟

(پ) چرا دمای سرب بیش از  $2$  دقیقه در  $K = 60^\circ\text{C}$  ثابت می‌ماند؟

(ت) با استفاده از نمودارهای داده شده، دو تفاوت مهم میان فلز سرب و آلیاژ سرب – قلع را نام بیرید.

(ث) چرا استفاده از لحیم نسبت به سرب برای اتصال سیم‌ها یا تعمیر لوله‌های شکسته مناسب است؟

## گرما و قانون گازها



۲۲ در چاله کوچکی  $1\text{kg}$  آب  ${}^{\circ}\text{C}$  قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن بخیزد، جرم آب بخزده چقدر است؟

## واژه‌نامه

Average Velocity	سرعت متوسط	Freezing	انجماد
Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای	Measurement	اندازه‌گیری
Average Acceleration	شتاب متوسط	Potential Energy	انرژی پتانسیل
Coefficient of Static Friction	ضریب اصطکاک ایستایی	Kinetic Energy	انرژی جنبشی
Heat Capacity	ظرفیت گرمایی	Internal Energy	انرژی درونی
Ultrasound	فراصوت	Resultant	برایند
Pressure	فشار	Vector	بردار
Gage Pressure	فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)	Position Vector	بردار مکان
Barometer	فشارسنج	Crystalline	بلورین
Technology	فناوری	Conservation of Energy	پایستگی انرژی
Atomic Physics	فیزیک اتمی	Diffusion	پخش
Nuclear Physics	فیزیک هسته‌ای	Radiation	تابش
Newton's Laws	قانون‌های نیوتون	Vaporization	تبخیر
Work – Energy Theorem	قضیه کار و انرژی	Evaporation	تبخیر سطحی
Work	کار	Sublimation	تصعید
Tension	کشش	Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Surface Tension	کشش سطحی	Optical Pyrometer	تُفسنج نوری
Quantity	کمیت	Power	توان
Ideal gas	گاز کامل	Displacement	جابه‌جایی
Gravitation	گرانش	Mass	جرم
Heat	گرما	Cohesion	چسبندگی (هم‌چسبی)
Latent Heat	گرمای نهان	Adhesion	چسبندگی سطحی (دگر چسبی)
Specific Heat	گرمای ویژه	Condensation	چگالش
Condensed Matter	ماده چگال	Density	چگالی
Temperature Scale	مقیاس دما‌سنجی	Phase	حالت
Capillarity	مویینگی	Motion	حرکت
Liquefaction	میعان	Kinematics	حرکت شناسی
Scalar	نرده‌ای	Uniform Motion	حرکت یکنواخت
Scientific Notation	نمادگذاری علمی	Temperature	دما
Force	نیرو	Thermostat	دماپا
Dynamometer	نیروسنج	Thermometer	دماسنج
Repulsive Force	نیروی رانشی (دافعه)	Maximum and Minimum Thermometer	دماسنج فرینه
Attractive Force	نیروی ریاپیشی (جاذبه)	Dynamics	دینامیک
Weight	وزن	Fusion	ذوب
Convection	همرفت	Elementary Particles	ذرات بنیادی
Unit	یکا	Conductor	رسانا
Base Units	یکاهای اصلی	Conduction	رسانش
Derived Units	یکاهای فرعی	Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای

شماره کلاس:

نام آموزشگاه:

عنوان آزمایش:

نام و نام خانوادگی گزارشگر:

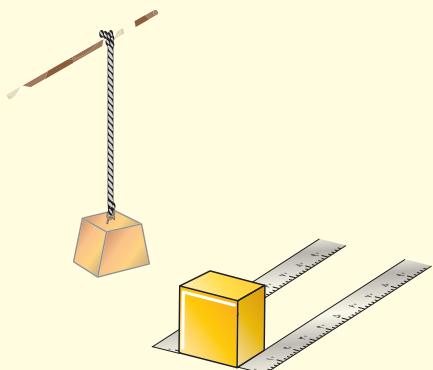
تاریخ اجرای آزمایش:

نام و نام خانوادگی اعضای گروه:

تاریخ تحويل گزارش:

**وسایل لازم:** وزنه فلزی قلابدار – مکعب چوبی (هم جرم با وزنه) – نخ – خطکش –

پایه – خمیر بازی – چسب نواری – ترازو



مرحله‌های اجرای آزمایش: ابتدا جرم وزنه قلابدار را با استفاده از ترازوی سه‌اهرمه (تک‌کفه‌ای) اندازه‌گیری کردیم  $m = 53/6 \text{ g}$ . برای آنکه مکعب با سطح میز اصطکاک کمتری داشته باشد زیر آن را چسب‌نواری چسباندیم. سپس جرم آن را اندازه‌گیری کردیم و آنقدر روی آن خمیربازی چسباندیم تا جرم مجموعه به  $53/6 \text{ g}$  رسید. چون می‌خواهیم مکعب روی مسیر مستقیم حرکت کند و در آزمایشگاه ریل پرده نداشتم مطابق شکل رو به رو دو خطکش را در طرفین مکعب طوری روی میز چسباندیم که مکعب بتواند در نوار بین دو خطکش حرکت کند.

وزنه را با نخ از پایه طوری آویختیم که در حالت قائم و مماس بر مکعب ساکن باشد.

وزنه را در حالتی که نخ آن کاملاً کشیده بود به اندازه  $5\text{cm}$  از سطح میز بالا آورد و رها کردیم.

گلوله در برخورد با مکعب تقریباً ساکن شد و مکعب به حرکت درآمد و جابه‌جا شد. جابه‌جایی را اندازه‌گیری کردیم و برای کم کردن خطای آزمایش دو بار دیگر نیز همین کار را تکرار کردیم و میانگین جابه‌جایی مکعب را در جدول باداشت کردیم.

آزمایش را به همین ترتیب برای ارتفاع‌های دیگر هر بار سه مرتبه انجام دادیم و همه نتایج را در جدول ثبت کردیم.

#### جدول یا نمودار

توجه: اندازه‌گیری جابه‌جایی مکعب وقتی وزنه از ارتفاع  $15\text{ cm}$  سانتی‌متری رها می‌شند در سومین دفعه خیلی باقیه تفاوت داشت که آن را حذف کردیم

چون احتمالاً در برخورد آن با جعبه خطابی پیش آمده که متوجه آن نشده‌ایم.

میانگین	جابه‌جایی مکعب پس از برخورد			ارتفاع وزنه از سطح میز (cm)	ردیف
	۳	۲	۱		
۷/۵	۷/۶	۷/۳	۷/۷	۵	۱
۱۴/۳	۱۴/۶	۱۴/۲	۱۴	۱۰	۲
۲۱/۶	۱۱/۵	۲۱/۵	۲۰/۸	۱۵	۳
					۴

تحلیل جدول یا نمودار و نتیجه‌گیری: دیده می‌شود که وقتی ارتفاع را دو برابر کردیم تقریباً جایه‌جایی مکعب نیز دو برابر و به همین ترتیب وقتی

ارتفاع را سه برابر کردیم جایه‌جایی مکعب هم سه برابر شده است.

پس نتیجه می‌گیریم که: (الف) وزنه وقتی نسبت به میز در ارتفاع قرار می‌گیرد دارای انرژی ای است که در برخورد به مکعب آن را به شکل انرژی

جنبیشی به مکعب می‌دهد.

انرژی وزنه را انرژی پتانسیل گرانشی می‌نامیم.

(ب) هرچه ارتفاع وزنه بیشتر باشد انرژی پتانسیل گرانشی آن هم بیشتر است:

$U \propto h$  انرژی پتانسیل گرانشی جسم

#### عوامل ایجاد خطأ :

(الف) اصطکاک جعبه بالبهای خطکش‌ها دردو طرف مسیر و نیز با سطح میز

(ب) اندازه‌گیری ارتفاع گلوله تا سطح میز که سعی می‌کردیم از مرکز وزنه تا سطح میز را با خطکش اندازد گیریم و همین موجب ایجاد خطأ می‌شد.

(پ) طرز قرارگرفتن گلوله و نحوه موجب می‌شود که پس از رهاسدن برخورد در همهٔ حالت‌ها ایده‌آل نباشد بخصوص در آزمایش سوم برای ارتفاع

۱۵ سانتی‌متری.

پیشنهاد و ابتکار: اعضای گروه ما فکر می‌کنند که از عوامل دیگر مؤثر انرژی پتانسیل گرانشی هر جسم جرم آن است و برای تحقیق آن می‌توانیم

مانند آزمایش اجرا شده بالا وزنهایی با جرم‌های مختلف را از یک ارتفاع یکسان رها کنیم تا به جعبه برخورد کنند. البته حدس می‌زنیم که این دفعه گلوله‌ها

در برخورد با جعبه متوقف نشوند و همین موضوع باعث خطای زیادی خواهد شد.

## فهرست منابع

### منابع فارسی

- ۱- مبانی فیزیک (جلد اول)، ویرایش دهم، دیوید هالیدی، رابت رزنیک و یل واکر، ترجمه محمد رضا خوشبین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۳.
- ۲- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پور قاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمد تقی فلاحتی مروستی، چاپ اول ۱۳۸۹، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۳- درک فیزیک با رویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمه روح الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.
- ۴- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توونچی، حسن شریفیان عطار و محمد هادی هادیزاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵- دوره درسی فیزیک (جلد اول) گ.س. لندرسبرگ، ترجمه لطیف کاشیگر و دیگران، چاپ اول، ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- اصول فیزیک (جلد اول)، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک مفهومی، ویرایش دهم، هیوئیت، ترجمه منیره رهبر، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک پایه، ویرایش سوم، بلت، ترجمه محمد خرمی و ناصر مقبلی و مهران اخباریفر، چاپ پنجم، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.
- ۹- دانشنامه فیزیک، جان ریدگدن و دیگران، ترجمه محمد ابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۱۰- نمایش هیجان انگیز فیزیک، ویرایش دوم، یل واکر، ترجمه محمد رضا خوشبین خوش نظر و رسول جعفری تزاد، چاپ اول ۱۳۹۱.

### منابع انگلیسی

1. Mc Graw – Hill Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw – Hill.
2. Holt Physics, Serway and Faughn, 1999, Holt Rinehart and Winston.
3. Physics, Giambattista and Richardson, Second Edition, 2008, MC Graw – Hill.
4. University Physics, Bauer and Westfall, 2011, MC Graw – Hill.
5. Physics, Eugene Hecht, Second Edition, 1997, Brooks / Cole Publishing company.
6. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison – Wesley.

7. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.

8. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice – Hall International.

9. Principles of Physics, Frank J. Blatt, 1989, Allyn and Bacon.

تصویرهای شروع فصل‌های ۱، ۲، ۳ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.

