

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فیزیک (۲) و آزمایشگاه

سال دوم آموزش متوسطه

رشته های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

نام کتاب : فیزیک (۲) و آزمایشگاه - ۲۲۶/۲

شورای برنامه ریزی : احمد احمدی، سیامک خادمی، روح الله خلیلی بروجنی، منیژه رهبر، محمدرضا شریف زاده اکباتانی،

حیدرشکری، مهرناز طلوع شمس، حمید فدایی فرد، مجید فلاح و اسفندیار معتمدی

مؤلفان : اعظم پورقاضی، سید مهدی شیوایی، حسن عزیزی و غلامعلی محمودزاده

اصلاح و بازنگری : احمد احمدی، محمدرضا خوش بین خوش نظر، محمدرضا شریف زاده اکباتانی، مهرناز طلوع شمس و حمید فدایی فرد

آماده سازی 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 : ۹ - ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیکروش

رسام : مریم دهقانزاده

طراح جلد : مریم کیوان

صفحه آرا : راحله زادفتح اله

حروفچین : کبری اجابتی، زهرا ایمانی نصر

مصحح : سیف الله بیک محمددلیوند، حسین چراغی

امور آماده سازی خبر : سپیده ملک ایزدی

امور فنی رایانه ای : حمید ثابت کلاچاهی، فاطمه رئیسیان فیروزآباد

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ - ۳۷۵۱۵

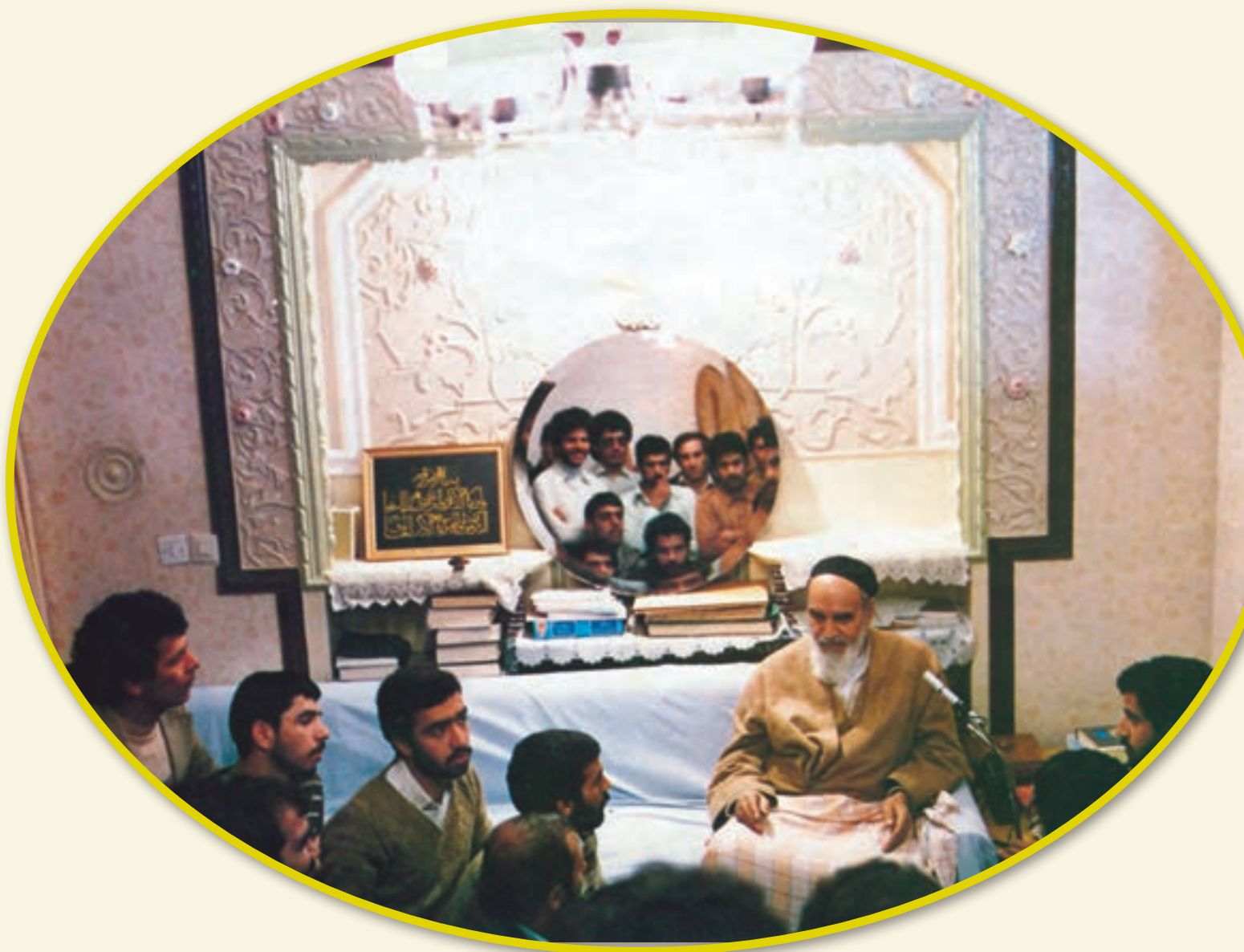
چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پانزدهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹۶۴-۰۵-۰۷۲۵-۳ ISBN 964-05-0725-3

۱۳۹۴



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 (رحمة الله علیه)

فهرست

۸۴	۳-۴- رابطه کار و انرژی پتانسیل	۱	فصل اول - اندازه گیری و کمیت های فیزیکی
۸۶	۴-۴- پایستگی انرژی مکانیکی	۲	۱-۱- اندازه گیری
۸۹	۴-۵- توان	۱۳	۲-۱- کمیت های فیزیکی
۹۲	پرسش های فصل چهارم	۲۴	پرسش های فصل اول
۹۲	مسائل فصل چهارم	۲۴	مسائل فصل اول
۹۵	فصل پنجم - ویژگی های ماده	۲۶	فصل دوم - حرکت در خط راست
۹۶	۱-۵- حالت های مختلف ماده	۲۸	۱-۲- مکان، جابه جایی
۹۸	۲-۵- چگالی	۳۲	۲-۲- سرعت متوسط و سرعت لحظه ای
۱۰۲	۳-۵- نیروهای بین مولکولی	۳۶	۳-۲- حرکت یکنواخت
۱۰۶	۴-۵- فشار در شاره ها	۳۸	۴-۲- شتاب متوسط و شتاب لحظه ای
۱۰۷	۵-۵- محاسبه فشار در مایع ها	۴۲	۵-۲- حرکت با شتاب ثابت
۱۱۶	پرسش های فصل پنجم	۴۸	پرسش های فصل دوم
۱۱۶	مسائل فصل پنجم	۴۹	مسائل فصل دوم
۱۱۸	فصل ششم - گرما و قانون گازها	۵۳	فصل سوم - دینامیک
۱۱۹	۱-۶- دما، انرژی درونی و گرما	۵۴	۱-۳- نیرو
۱۲۷	۲-۶- حالت های ماده	۵۶	۲-۳- قانون های نیوتون درباره حرکت
۱۳۶	۳-۶- انبساط گرمایی	۵۹	۳-۳- معرفی چند نیروی خاص
۱۴۴	۴-۶- انتقال گرما	۷۰	۴-۳- استفاده از قانون های نیوتون درباره حرکت
۱۵۶	پرسش های فصل ششم	۷۳	پرسش های فصل سوم
۱۵۶	مسائل فصل ششم	۷۴	مسائل فصل سوم
۱۶۰	واژه نامه	۷۶	فصل چهارم - کار و انرژی
۱۶۳	فهرست منابع	۷۷	۱-۴- کار
		۸۰	۲-۴- 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 آزمون‌دنی 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 دانش‌آموزان 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 فردای دانش‌آموزان در زمینه علم و فناوری برای برنامه‌ریزان آموزشی، به طور کامل آشکار نباشد. به همین دلیل شیوه‌های آموزش فیزیک نیز به تبع نیازهای جدید، تغییرات چشمگیری داشته است.

در شیوه‌های نوین آموزش، تلاش زیادی می‌شود تا دانش‌آموز، چگونگی آموختن را بیاموزد و مهارت برخورد با یک پدیده و پی‌موندن مراحل را که منجر به شناسایی آن پدیده می‌شود، فراگیرد. در کتاب‌های درسی فیزیک تلاش شده است، دانش‌آموز در تولید مفاهیم درسی نقش فعالی داشته باشد. قسمتی از نقش دبیران محترم، طرح مناسب موضوع‌های درسی و سپس راهنمایی دانش‌آموزان برای باز کشف مفاهیم مربوط به موضوع‌های مطرح شده است. با توجه به این که یکی از موضوعات مورد تأکید در این کتاب، فعال بودن دانش‌آموزان 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 بپرهیزند. تا نقش فعالی که دانش‌آموزان 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 دانش‌آموزان در فرایند آموزش و یادگیری درگیر شوند و مهارت‌های علمی و عملی آنها رشد یابد.

انتظار می‌رود همکاران گرامی هر جا که لازم می‌دانند با تکیه بر تجربه خود و دیگر همکاران، فعالیت و یا آزمایشی را که به یادگیری بهتر دانش‌آموزان کمک می‌کند، طراحی کنند و آنها را به‌طور گروهی برانجام آزمایش‌ها ترغیب 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 دبیران محترم، صاحب‌نظران و دانش‌آموزان 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 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.



بنای درطوس – فراسان رضوی

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان مادی پیرامون 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 می دهد.

واژه فیزیک برگرفته از واژه باستانی یونانی Physis به معنای طبیعت و ماهیت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می دهد، 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 پی گیری شد. کارهای ارشمیدس (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) به همین دوره مربوط می شود. روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هبیش، خواجه نصیر الدین طوسی، ابن سینا 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.

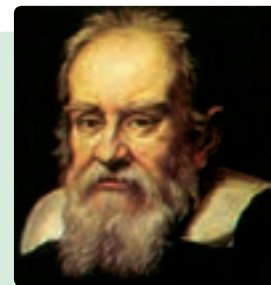
گالیله ضمن بررسی حرکت اجسام روی سطح شیبدار به اندازه‌گیری کمیت‌هایی مانند جرم جسم، زمان حرکت و طول مسیر پرداخت. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌ها بیابد و نتیجه را به صورت ریاضی بیان کند. در روش‌های علمی امروزی نیز دانشمندان در جستجوی روابط ریاضی‌ای هستند که نتایج اندازه‌گیری‌ها را به هم مربوط می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

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، هواشناسی، 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 می کنیم. 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 می شناسید. 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 می دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری اند و برخی دیگر نه. برای مثال سنگینی یک جسم، بلندی یا دمای یک جسم را به صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می توان اندازه گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.



گالیلهو گالیله (۱۶۴۲-۱۶۴۳ ه. ش) فیزیکدان، منجم و ریاضیدان ایتالیایی در شهر پیزای 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 بارز او به علم کشف وجود نوآختران در سال ۱۶۰۴ میلادی بود. گرچه او خدمات متعددی به علم کرد که از آن جمله می توان به ساخت تلسکوپ، کشف چهار قمر مشتری و قانون سقوط آزاد اجسام اشاره کرد، اما کارهای علمی او تحت الشعاع نظریه او در رد 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، زیر آماج تیرهای تهمت قرار گرفت و سیل مخالفت و عناد بر علیه او به پا شد، به طوری که در سال ۱۶۳۳ میلادی کارش به دادگاه تفتیش عقاید روم کشید و او به اجبار دست از نظریات خود برداشت. با این همه او پیش از مرگ کتابی به نام علوم جدید را به طور محرمانه به چاپ رساند و سرانجام در ۸ ژانویه ۱۶۴۲ میلادی (۱۰۲۱ ه. ش) چشم از دنیا فرو بست.

در زندگی روزانه، هر یک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه می‌گیریم، 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 در نظر بگیرید. جدولی همانند جدول زیر را تنظیم و پس از تحقیق آن را پر کنید. آنگاه جدول خود را با جدول افراد گروه خود مقایسه و کامل کنید.

مقادیر به دست آمده در یک اندازه‌گیری	وسایل اندازه‌گیری	چه چیزی را اندازه می‌گیرد		
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 پمپ‌بنزین	۴
			شیشه‌بر	۵
				۶

آیا می‌توانیم از این فعالیت نتیجه بگیریم که در هر اندازه‌گیری نیاز به وسیله اندازه‌گیری وجود دارد و نتیجه اندازه‌گیری برحسب 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 دو نقطه از مدار را برحسب ولت به دست آوردیم، یا با استفاده از خط‌کش فاصله کانونی عدسی همگرا را برحسب 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 به دست می‌آید. برای مثال ممکن است برای بلندی قامت یک فرد $1/72$ متر یا برای طول یک اتاق ۸ قدم و یا برای فاصله بین دو شهر 107 کیلومتر به دست 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 ۱-۲

با انتخاب یک یکای طول (مثل طول مداد)، طول نیمکتی را اندازه بگیرید. 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.

طول نیمکت (یا هر چیزی دیگری که مورد نظر شماست)	یکا
	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 ۱-۲ نشان می‌دهد که وقتی از یکاهای مختلفی برای اندازه‌گیری طول یک جسم استفاده می‌کنیم عددهای متفاوتی به دست می‌آوریم.

دانشمندان برای آنکه عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت به راحتی با هم مقایسه پذیر باشند، در نشست‌های 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 وجب دست معرفی کنیم. 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 وامی‌دارد که به تغییرناپذیری یکا اهمیت بیشتری بدهیم 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^۱ خوانده می‌شود. در ادامه به معرفی برخی از این یکاها می‌پردازیم.

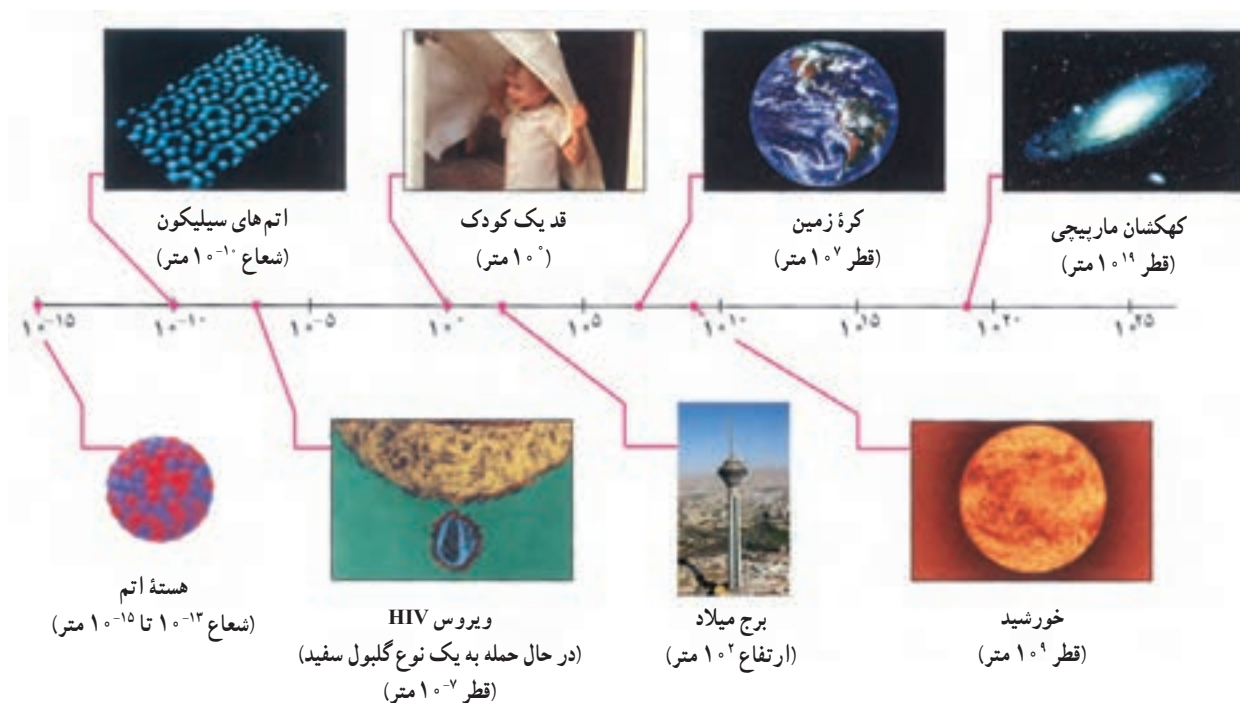
۱-SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

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 به‌طور مستقل تعریف شده‌اند، کمیت‌های اصلی و یکاهای آنها را یکاهای اصلی می‌نامند. سایر کمیت‌ها از قبیل مساحت، حجم و... کمیت‌های فرعی نام دارند. یکای کمیت‌های فرعی را می‌توان بر حسب یکاهای اصلی تعیین کرد. طول، جرم، 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. بنابه یک توافق قدیمی برای این طول (یک متر) نمونه استاندارد ساخته شده است که در موزه سِوِر 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 به‌طور دقیق برابر طول توافق شده بین‌المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همه کشورهای نمونه‌هایی مشابه این نمونه استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند.

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 یکا نیز یک نمونه استاندارد به صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزه سور 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 تعریف قدیمی، یک ثانیه برابر $\frac{1}{86400}$ یک شبانه‌روز است.



شکل ۱-۲- نمونه جرم استاندارد

جدول ۱-۱- یکای پنج کمیت اصلی در SI

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

* با این یکا در فصل ششم کتاب آشنا می‌شوید.

یکای کمیت‌های فرعی:

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

شعاعیت 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 برحسب یکاهای اصلی بنویسید.

ردیف	نام کمیت	نماد کمیت	نام یکا	نماد یکا	یکای برحسب یکاهای اصلی
۱	سرعت				
۲	انرژی جنبشی				
۳	شتاب جاذبه	g	متر بر مجذور ثانیه	m/s^2	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 مقادارها، برای ثانیه تعریف بسیار دقیق‌تری ارائه شده است که همراه با تعریف دقیق متر و کیلوگرم در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک با آن آشنا خواهید شد.

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 10^0 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 ۱ میکرومتر ($1\mu\text{m}$) که به آن ۱ میکرون نیز می‌گویند برابر 10^{-6}m است یا ۲ مگاوات (2MW) برابر $2 \times 10^6\text{W}$ است.

جدول ۲-۱

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

تمرین ۱-۱

با استفاده از جدول ۲-۱ حساب کنید:

الف) 50000cm چند cm است؟

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

پ) 47mg چند μg است؟

مقیاس نانو: یکی از مقیاس‌هایی که امروزه کاربردهای گسترده‌ای 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) سرو 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 دستاورد عجیبی دست یابد، بدون درک مفهوم اندازه نانو و اینکه دانشمندان واقعاً با چه «چیزهای» ریزی سر و کار دارند، ملموس نخواهد بود. برای درک بهتر از این مقیاس و برای آنکه دید بهتری از دانش نانو و اختراعات 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 ۱-۴

الف) با استفاده از شکل ۱-۳ و برای آنکه به تصویری از اندازه مقیاس نانو دست یابید، قطر موی انسان و قطر یک گلبول قرمز را بر حسب مقیاس نانو به دست آورید.
ب) در مورد ابزارهایی که دانشمندان و مهندسان علوم نانو با آن کار می‌کنند تحقیق، و به کلاس گزارش کنید.

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً سرعت نور در خلأ به طور دقیق $299,792,458 \text{ m/s}$ است که در محاسبه آن را به صورت $300,000,000 \text{ m/s}$ تقریب می‌زنند یا برای نوشتن جرم یک الکترون بر حسب کیلوگرم باید بعد از ممیز 30 صفر قرار دهیم و پس از آن رقم 9109 را بنویسیم. بدیهی 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 بزرگ‌تر از 1 یا مساوی با 1 و کوچک‌تر از 10 و ضربی با توان صحیحی از 10 می‌نویسند. به عنوان مثال سرعت نور به صورت $3/00 \times 10^8 \text{ m/s}$ و جرم الکترون به صورت $9/109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ نوشته می‌شود.



مورچه، ۵ میلی‌متر



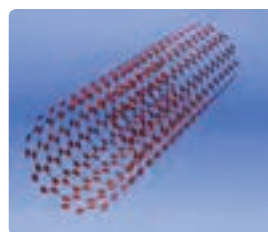
قطر موی انسان، ۶۰ تا ۱۲۰ میکرومتر



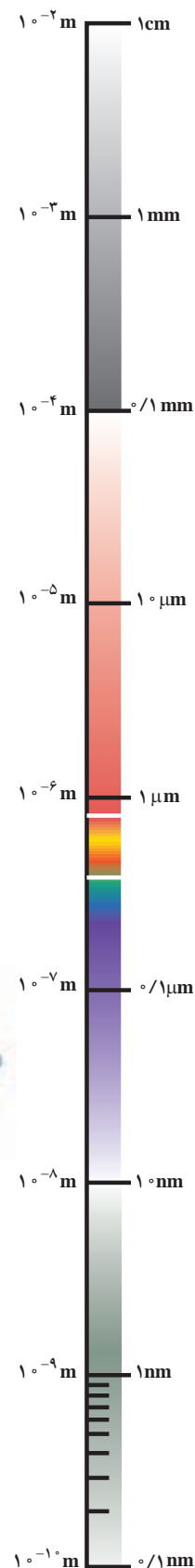
قطر گلبول قرمز، ۷ میکرومتر



آنزیم، ۱۰ نانومتر



نانولوله کربن، قطر ۱ نانومتر



شکل ۱-۳

مثال ۱-۱

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

الف) فاصله ماه تا زمین: $r = 382 \times 10^3 \text{ km} = \dots\dots\dots \text{m}$

ب) شعاع اتم هیدروژن در مدل اتمی بور: $a_0 = 0.0529 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{m}$

پ) جرم خورشید: $m = 199 \times 10^{25} \text{ ton} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ت) جرم پروتون: $m = 16/7 \times 10^{-25} \text{ g} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ث) مدت زمان گردش سیاره عطارد به دور خورشید: $T = 0/241 \text{ سال} = \dots\dots\dots \text{سال}$

ج) مدت زمان گردش الکترون به دور هسته

اتم هیدروژن در مدل اتمی بور: $T = 0/00015 \text{ ps} = \dots\dots\dots \text{s}$

چ) بار الکتریکی الکترون: $q_e = 160 \times 10^{-15} \mu\text{C} = \dots\dots\dots \text{C}$

پاسخ: با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم:

الف) $r = 382 \times 10^3 \text{ km} = 3/82 \times 10^8 \text{ m}$

ب) $a_0 = 0.0529 \text{ nm} = 5/29 \times 10^{-11} \text{ m}$

پ) $m = 199 \times 10^{25} \text{ ton} = 1/99 \times 10^{30} \text{ kg}$

ت) $m = 16/7 \times 10^{-25} \text{ g} = 1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

ث) $T = 0/241 \text{ سال} = 2/41 \times 10^{-1} \text{ سال}$

ج) $T = 0/00015 \text{ ps} = 1/5 \times 10^{-14} \text{ s}$

چ) $q_e = 160 \times 10^{-15} \mu\text{C} = 1/60 \times 10^{-19} \text{ C}$

تمرین ۲-۱

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

الف) شعاع کره زمین: $R_e = 637 \times 10^3 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{km}$

ب) فاصله زمین تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیمای قنطورس): $r = 404 \times 10^{11} \text{ km} = \dots\dots\dots \text{m}$

پ) جرم کره زمین: $M_e = 598 \times 10^{19} \text{ ton} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ت) جرم دوترون (یکی از ایزوتوپ‌های هیدروژن): $m = 3344 \times 10^{-27} \text{ g} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ث) مدت زمان رسیدن نور خورشید به زمین: $t = 499 \text{ s} = \dots\dots\dots \text{s}$

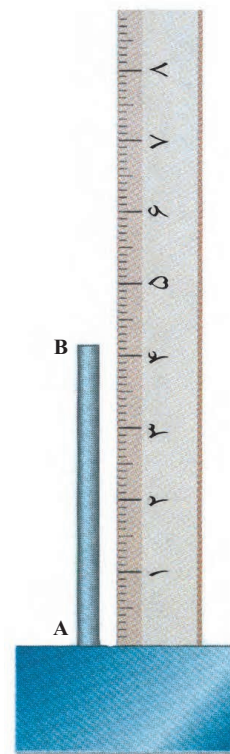
وسيله و روش اندازه گيری: اندازه گيری ها در فیزیک توسط وسيله های انجام می شود که معمولاً با توجه به کمیت مورد اندازه گيری انتخاب و یا طراحی می شوند و هر یک روش استفاده خاص خود را دارند. برای مثال، وسيله ای که برای اندازه گيری ضخامت یک برگ کاغذ مناسب است مسلماً برای اندازه گيری طول حیات مدرسه مناسب نیست.

برای کم کردن خطا در اندازه گيری هر کمیت، معمولاً اندازه گيری آن چند بار تکرار می شود. اگر عددهای به دست آمده متفاوت باشند، میانگین آن عددها به عنوان نتیجه اندازه گيری پذیرفته می شود. البته در میان عددهای متفاوت اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین گيری به حساب نمی آیند.

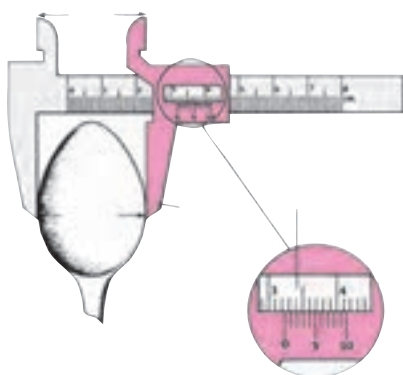
وسيله اندازه گيری طول: در اندازه گيری طول های نه چندان بزرگ و نه چندان کوچک از یک خط کش یا متر نواری استفاده می کنیم که برحسب میلی متر یا سانتی متر مدرج شده باشد. فرض کنید که می خواهید طول میله ای معین مثلاً میله AB در شکل (۱-۴) را با یک خط کش میلی متری اندازه بگیرید. در خط کش میلی متری فاصله بین هر دو نشانه متوالی برابر یک میلی متر است. در شکل، نقطه B بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می دهد که طول میله از ۴۱ میلی متر بیشتر و از ۴۲ میلی متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیشتر از ۴۱ میلی متر یا چقدر کمتر از ۴۲ میلی متر است، معلوم نیست.

طول این میله برحسب میلی متر با یک عدد صحیح مثلاً ۴۱ یا ۴۲ میلی متر بیان می شود. با این خط کش نمی توان طول میله را با عددهایی مانند $\frac{41}{8}$ یا $\frac{42}{1}$ یا ... میلی متر بیان کرد. در بعضی از کارگاه های صنعتی مانند تراشکاری ها، اندازه گيری طول با ابزارهای دقیق تر از خط کش میلی متری انجام می شود. این ابزارها کولیس و ریزسنج هستند. کولیس هایی که امروزه در آزمایشگاه های مدرسه استفاده می شوند، می توانند تا $\frac{2}{100}$ میلی متر را اندازه بگیرند. یعنی می توانند ضخامتی به کوچکی $\frac{2}{100}$ mm را نشان دهند.

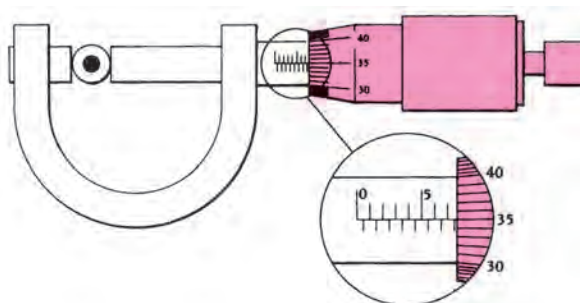
در شکل های (۱-۵ الف و ب) اندازه گيری با کولیس و ریزسنج نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- اندازه گيری طول یک میله با خط کش میلی متری



(ب) کولیس قدیمی با دقت ۰/۱ mm



(الف) ریزسنجی با دقت ۰/۰۱ mm

شکل ۱-۵

فعالیت ۱-۵

به همراه گروه خود :

- ۱- دربارهٔ روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک مانند فاصلهٔ 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 باشید، ضخامت یک برگ کاغذ را چگونه اندازه می‌گیرید؟

گزارش کار یک آزمایش چیست؟ گزارش کار همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، 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 عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.
- در صورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.
- عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها.
- نتیجه‌گیری.
- هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد^۱.

فعالیت ۱-۶

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

وسیلهٔ اندازه‌گیری جرم : جرم را معمولاً با ترازو اندازه می‌گیریم. شما در آشپزخانه، نانواپی، 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 موردنظر را به آرامی روی ترازو قرار می دهیم.

ت) پس از قرار دادن جسم در ترازو، صبر می کنیم، سپس عدد موردنظر 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 سیبی را اندازه می گیریم. کدام یک از عددهای زیر می تواند نتیجه این اندازه گیری باشد؟

الف) $211/25$ gب) $211/2$ gت) $211/30$ gپ) $211/27$ g

پاسخ: دقت این ترازو 0.1 g 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 کار آزمایش را بنویسید.

وسيلة اندازه‌گیری زمان : وسیله متداول برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به صورت‌های

مختلف در همه جا موجود است.

فعالیت ۸-۱

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 ۳-۱

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) 20 cm^3 ب) 21 cm^3
پ) 19 cm^3 ت) $20/5 \text{ cm}^3$

۲-۱ کمیت‌های فیزیکی

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

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

کمیت‌های نرده‌ای : چهار پیمانه 20° سانتی متر مکعبی آب درون سطلی 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 برحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفایت می‌کند **نرده‌ای** نام دارند.

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

برخی از کمیت‌های زده‌ای 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، به طور کامل مشخص نمی‌شوند.

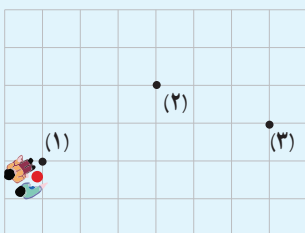
تصور کنید در حالی که چشمان خود را بسته‌اید، از دوستان که در جایی ایستاده است بخواهید یک قدم بردارد. آیا می‌توانید همچنان با چشمان بسته بگویید که او پس از این حرکت در کجا ایستاده است؟ مطمئناً پاسخ شما منفی است. او ممکن است با این یک قدم، به شما نزدیک‌تر یا از شما دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به عبارت دیگر جابه‌جایی او می‌تواند در هر راستا و سویی باشد. تنها در صورتی می‌توانید از مکان آخری او با اطلاع شوید که علاوه بر فاصله‌ای که او باید جابه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جابه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارد.

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

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

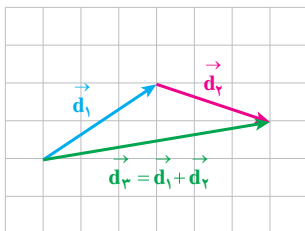
جابه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

فعالیت ۱-۹



روی یک صفحه کاغذ شطرنجی، با انتخاب مقیاس مناسب شکل حیاط مدرسه یا خانه خود را بکشید. نزدیک محل در ورودی حیاط را با شماره ۱ و وسط حیاط را با شماره ۲ و کنار دیوار عمود بر در ورودی را با شماره ۳ مشخص کنید. با این کار شما شکلی مشابه شکل روبه‌رو به دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محل شماره ۱ به محل شماره ۲ برود. بردار جابه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این

جابه‌جایی پاره خط جهت‌داری است که ابتدایش نقطه ۱ و انتهایش نقطه ۲ است). نام این جابه‌جایی را \vec{d}_1 بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شماره ۲ به محل شماره ۳ برود. این جابه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را \vec{d}_2 بنامید. جابه‌جایی 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 جابه‌جایی \vec{d}_1 و \vec{d}_2 را چگونه با هم جمع کنیم تا \vec{d}_3 به دست آید؟



شکل ۷-۱

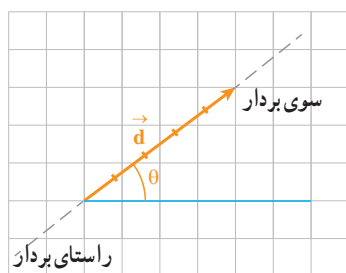
با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت ۹-۱ به دست آورده اید، درمی یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه جایی \vec{d}_1 و \vec{d}_2 ، مانند شکل ۷-۱ ابتدا جابه جایی \vec{d}_1 و سپس از انتهای آن جابه جایی \vec{d}_2 را رسم می کنیم. پاره خط جهت داری که ابتدای آن ابتدای \vec{d}_1 و انتهای آن انتهای \vec{d}_2 است، جابه جایی کل یا حاصل جمع دو جابه جایی (\vec{d}_3) را نشان می دهد.

جابه جایی، نمونه ای از یک کمیت برداری است. سایر کمیت های برداری نیز مانند جابه جایی ها با هم جمع می شوند. از این رو قاعده جمع جابه 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 می کند.**

حاصل جمع چند بردار را برابری آن بردارها (یا بردار برابری) می نامند.

فعالیت ۱۰-۱

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

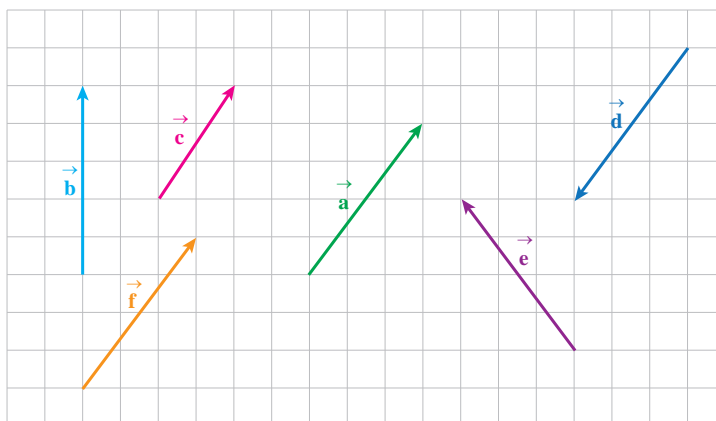


کمیت های برداری را با پاره خط های جهت دار (پیکان) نمایش می دهند. پیکان را هم جهت با بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار در نظر می گیرند. در این کتاب کمیت های برداری را با پیکان کوچکی (\rightarrow) مشخص می کنیم که بر روی نماد کمیت قرار می دهیم مانند \vec{d} . بزرگی بردار \vec{d} را با $|\vec{d}|$ و یا با نماد بدون پیکان آن (مانند d) مشخص می کنند (شکل ۸-۱). در این کتاب با کمیت های برداری دیگری از قبیل سرعت، شتاب، نیرو و... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

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

مثال ۳-۱

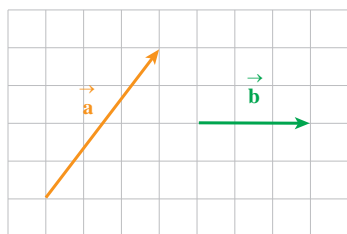
در شکل زیر بردارهای مساوی با بردار \vec{a} را مشخص کنید.



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

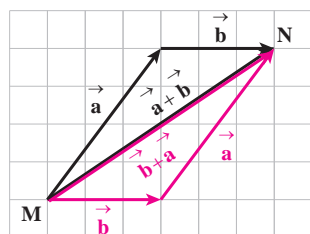
توجه داریم که جمع برداری دارای **خاصیت جابه‌جایی** است. یعنی حاصل جمع دو یا چند بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

مثال ۱۴



دانش‌آموزی دو جابه‌جایی بی‌دری انجام می‌دهد. هر یک از جابه‌جایی‌های او در شکل روبه‌رو به‌طور جداگانه نشان داده شده‌اند. جابه‌جایی برآیند دانش‌آموز را در هر یک از حالت‌های زیر رسم کنید.

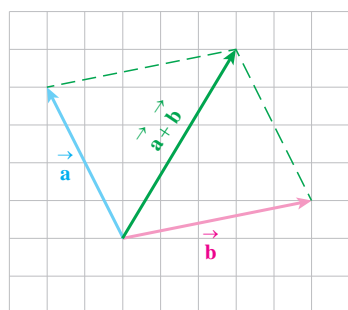
- الف) جابه‌جایی اول برابر \vec{a} و جابه‌جایی دوم برابر \vec{b} باشد.
ب) جابه‌جایی اول برابر \vec{b} و جابه‌جایی دوم برابر \vec{a} باشد.



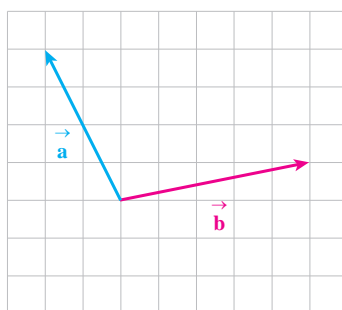
پاسخ: اگر دانش‌آموز در ابتدا روی نقطه M باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعده جمع برداری جمع می‌کنیم. با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطه N) رسیده است.

با دقت در شکل بالا درمی‌یابیم که برای رسم بردار برآیند، می‌توانیم از روش دیگری نیز استفاده کنیم: ابتدا بردارهای \vec{a} و \vec{b} را از یک مبدأ رسم می‌کنیم (شکل ۱-۹-ب).

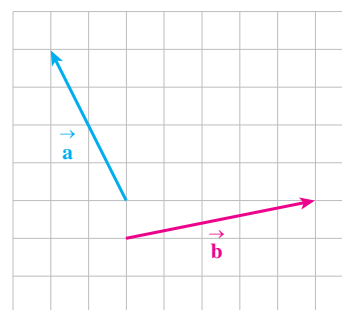
سپس متوازی‌الاضلاعی را رسم می‌کنیم که این دو بردار دو ضلع مجاور آن باشند. بردار قطری از متوازی‌الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند. شکل (۱-۹-پ). این روش جمع دو بردار را **روش متوازی‌الاضلاع** برای جمع بردارها می‌نامیم.



(ب)

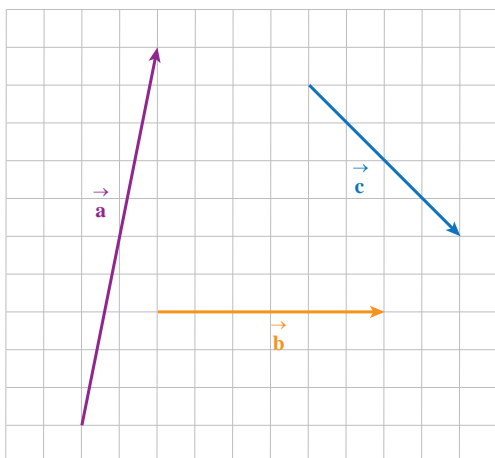


(ب)

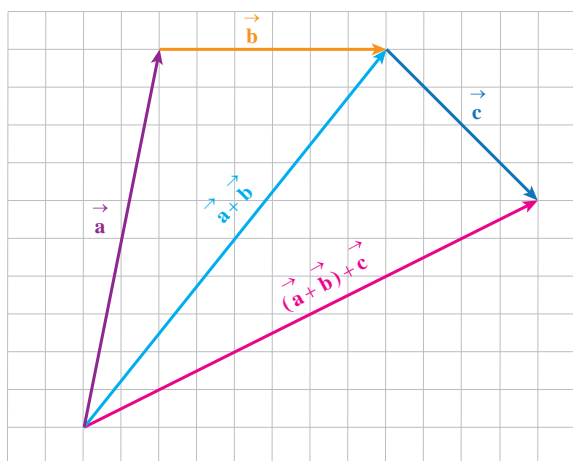


(الف)

شکل ۱-۹



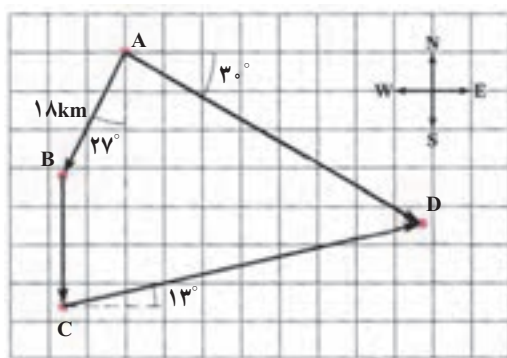
بردارهای \vec{a} و \vec{b} و \vec{c} را در شکل روبه‌رو در نظر بگیرید. بردار برابری آنها را بدست آورید.



پاسخ: مطابق شکل روبه‌رو 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 درمی‌یابیم که برای جمع کردن چند بردار می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر رسم کنیم. بردار برابری 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 جابه‌جایی‌ها در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. با استفاده از خط‌کش و نقاله و توجه به مقیاس، الف) اندازه جابه‌جایی‌های \vec{BC} و \vec{CD} را تعیین کنید. ب) بردار جابه‌جایی خودرو در کل مسیر را بیابید.

پاسخ:

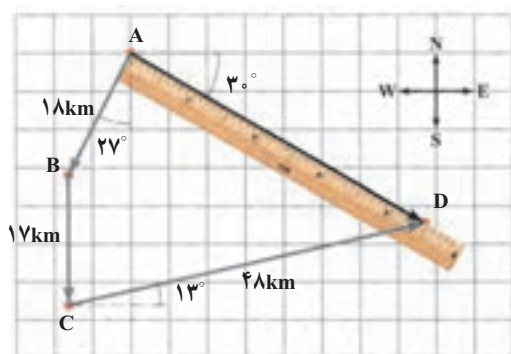
الف) با استفاده از خط‌کش و با توجه به مقیاس، اندازه جابه‌جایی‌ها را به دست می‌آوریم.

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

ب) بردار جابه‌جایی کل، برداری است که شهر A را به شهر D وصل می‌کند. با استفاده از خط‌کش و با توجه به مقیاس، اندازه جابه‌جایی کل به دست می‌آید.

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

به کمک نقاله زاویه این بردار با راستای شرق - غرب، 3° به دست می‌آید. می‌توان این نتیجه را به صورت « 3° جنوب شرق، یا 6° شرق جنوب» بیان کرد.



تمرین ۱-۱۴

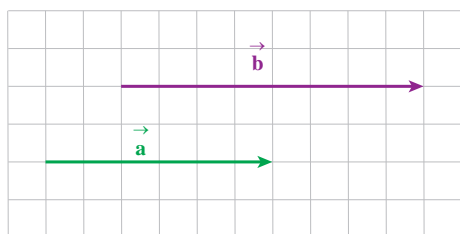
شخصی برای رسیدن به مقصد خود ابتدا در راستای شرق - غرب، 4 km به سمت شرق و سپس در راستای شمال - جنوب، 2 km به سمت جنوب می‌رود و سرانجام به اندازه 3 km در جهت 35° غرب جنوب جابه‌جا می‌شود. با استفاده از خط‌کش، نقاله و انتخاب مقیاس مناسب جابه‌جایی کل را پیدا کنید.

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

محاسبه نیز بزرگی بردار برابند را به دست آورد.^۱

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

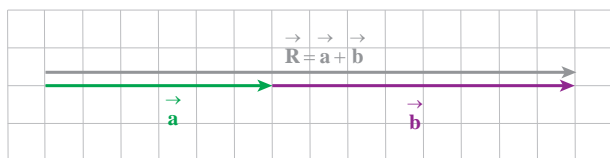
مثال ۷-۱



(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. چون دو بردار هم جهت‌اند، در امتداد هم روی یک خط قرار می‌گیرند. بردار برایند نیز همان گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم جهت با دو بردار \vec{a} و \vec{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:

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

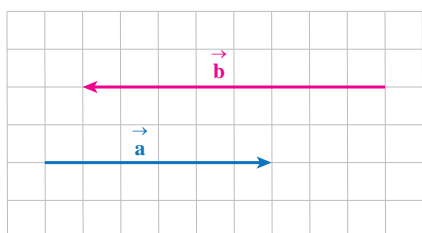
با حل این مثال: درمی‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار هم جهت \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست

می‌آید:

$$R = a + b$$

(۱-۱)

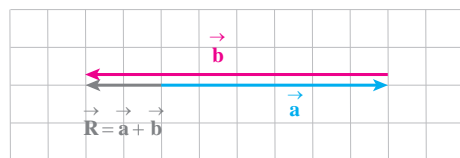
مثال ۸-۱



(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 همان گونه 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 هستند، داریم:

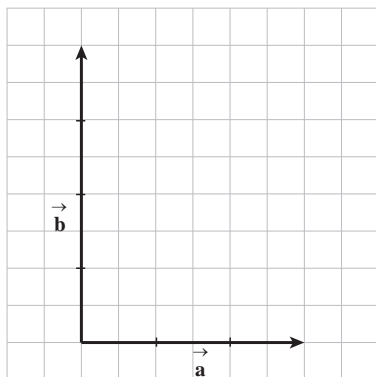
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$

با حل این مثال، درمی یابیم که بزرگی برآیند دو بردار هم راستا و در خلاف جهت هم \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست می آید.

$$R = |a - b|$$

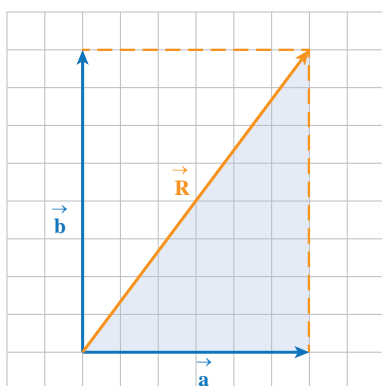
(۲-۱)

مثال ۱-۹



(الف)

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



(ب)

پاسخ: برای به دست آوردن بردار برآیند (\vec{R}) ، مطابق قاعده جمع برداری عمل می کنیم. اگر بزرگی \vec{R} را با خط کش اندازه بگیریم آن را ۵ واحد به دست می آوریم.

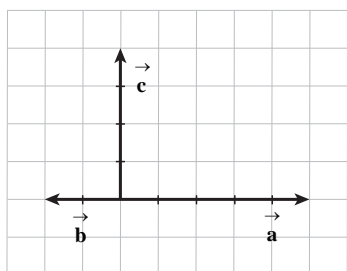
همان طور که در شکل ب دیده می شود \vec{R} ، وتر مثلث قائم الزاویه ای است که ضلع های آن \vec{a} و \vec{b} است. بنابراین، می توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورس بنویسیم.

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

با حل این مثال، درمی یابیم که بزرگی برآیند دو بردار عمود بر هم \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست می آید:

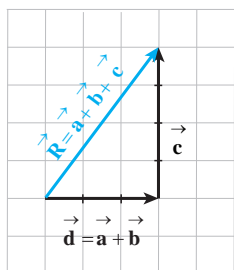
$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

(۳-۱)



(الف)

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.

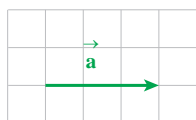


(ب)

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 می‌آوریم. برداری است هم جهت با \vec{a} و بزرگی آن برابر 3cm است. اکنون برایند دو بردار \vec{c} و \vec{d} را مطابق شکل ب به دست می‌آوریم.

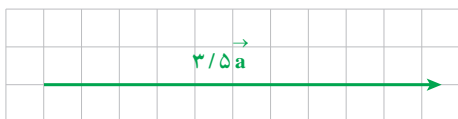
$$R = \sqrt{d^2 + c^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

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



(الف)

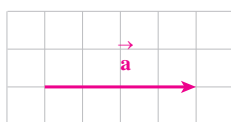
برداری \vec{a} در شکل روبه‌رو رسم شده است. بردار $\frac{3}{5}\vec{a}$ را رسم کنید.



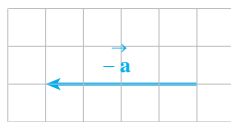
(ب)

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

مثال ۱۲-۱



(الف)



(ب)

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

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

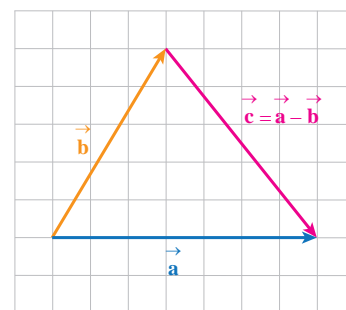
تفریق دو بردار: حاصل تفریق دو بردار \vec{a} و \vec{b} برداری مانند \vec{c} است.

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

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

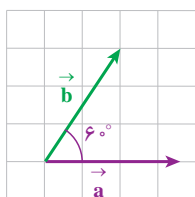
در شکل ۱-۱، بردارهای \vec{a} ، \vec{b} و \vec{c} طوری رسم شده‌اند که $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$ شود.

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 تفریق) و انتهای آن بر انتهای بردار \vec{a} (عامل اول تفریق) منطبق باشد، بردار \vec{c} است.

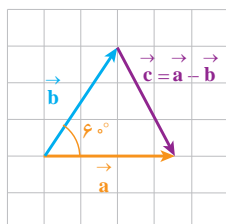


شکل ۱-۱ حاصل تفریق دو بردار

مثال ۱۳-۱



(الف)



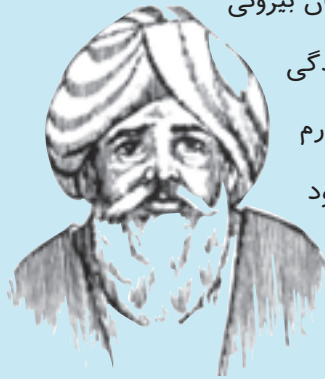
(ب)

دو بردار \vec{a} و \vec{b} مطابق شکل الف با یکدیگر زاویه 6° می‌سازند و بزرگی آنها با هم برابر است. بردار $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$ را به دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.

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 متساوی‌الاضلاع است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار \vec{a} و \vec{b} است یعنی:

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

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 بدرود گفت. از تاریخ تولد این دانشمند ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری اطلاع دقیقی در دست نیست. تحصیلات خود را در شهرری 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 همه 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 همه 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 عضالدوله 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 **انباط میاه الخفیی** (به معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد.

از نوشته‌های کرجی در این کتاب چنین برمی‌آید که او درباره ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی آن دانش فراوانی داشته است. برای نمونه، او از راه بهره‌وری از خاک رس 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 دربرگیرنده تراز و چند وسیله اندازه‌گیری دیگر است، تشریح می‌کند.

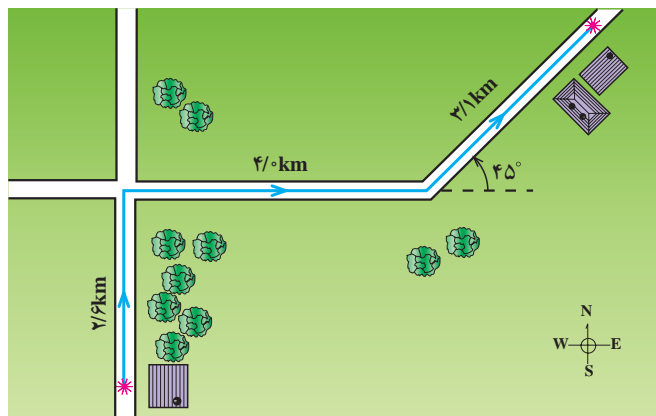
وجود نام این دانشمند بزرگ به مدت دو دهه در دایرة المعارف علوم نیویورک نشان از شهرت جهانی این مرد بزرگ دارد که متأسفانه در کشور ما ناشناخته مانده است.

پرسش های فصل اول

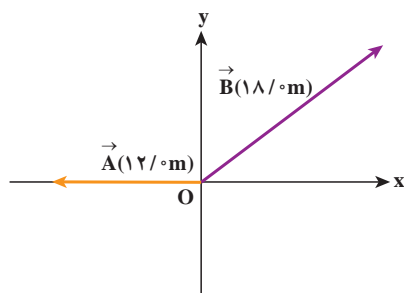
- ۱ گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.
- ۲ جرم یک سنجاق ته گرد را چگونه می توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه گیری کرد؟
- ۳ روش هایی برای اندازه گیری ارتفاع یک برج پیشنهاد دهید.
- ۴ می دانیم جمع دو بردار جابه جابپذیر است. آیا تفریق بردارها نیز جابه جابپذیر است؟ به طوری که $\vec{a} - \vec{b}$ و $\vec{b} - \vec{a}$ مساوی باشد؟

مسائل فصل اول

- ۱ جرم ذره غباری $10^{-10} \times 6/7$ کیلوگرم است. جرم آن را برحسب گرم، میلی گرم، میکروگرم و نانوگرم بنویسید.
- ۲ در بعضی از جدول ها 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 راه های اندازه گیری عمق آب اقیانوس ها آن است که یک موج فراصوتی را از سطح آب به اعماق آب می فرستند. این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب باز می گردد و در سطح آب آشکار سازی می شود. با اندازه گیری بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصله سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می شود. اگر بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی ۱۴ s و سرعت انتشار صوت در آب 1450 m/s باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.
- ۴ ابعاد سلول ها و باکتری ها $1 \mu\text{m}$ ، اندازه قطر نوک خودکار معمولی 1 mm و قطر نوک انگشت کوچک انسان 1 cm است. این ابعاد برحسب nm چقدرند؟
- ۵ قلب یک ورزشکار در هر ثانیه (در حال استراحت) 90 cm^3 خون می کشد. در طول یک شبانه روز چه مقدار خون برحسب m^3 کشیده می شود؟
- ۶ سریع ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هسپروویوکوویلی است که در طی ۱۴ روز، $3/7 \text{ m}$ رشد می کند. آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟
- ۷ دایره بزرگی بکشید و محیط و قطر آن را با بیشترین دقتی که می توانید به کمک متر پارچه ای و یا نخ اندازه بگیرید. با استفاده از این مقادیر، عدد π را با بیشترین دقتی که می توانید به دست آورید.



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

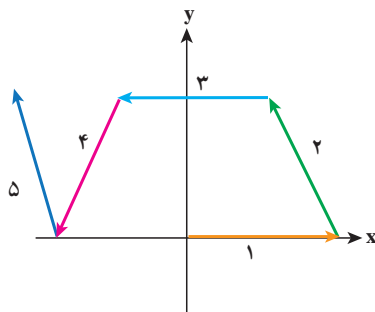


۹ برای دو بردار \vec{A} و \vec{B} در شکل روبه‌رو
الف) بردار $\vec{A} + \vec{B}$
ب) بردار $\vec{A} - \vec{B}$
را با رسم نمودار به دست آورید.

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.
الف) \vec{b} ب) $\vec{a} + \vec{b}$ پ) $\vec{a} - \vec{b}$

۱۲ نوعی مورچه کویری که در بیابان‌ها زندگی می‌کند، وقتی به دنبال غذاست، 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 خیالی فرض کنید این مورچه پنج مسیر ۶ سانتی متری 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 باز می‌گردد، 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 جنوب 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 می‌افتند و ... (شکل ۱-۲).



ب



الف



ث



ت



ب

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



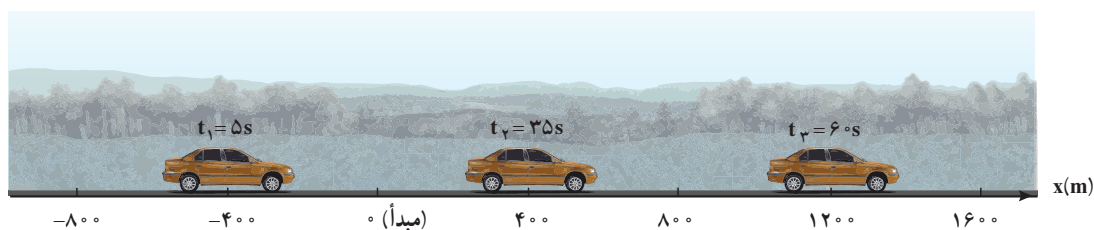
شکل ۲-۲ - حرکت دوچرخه‌سوار

زمانی که حرکت‌هایی مانند افتادن یک برگ از شاخه درخت یا حرکت یک خودرو و ... را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً 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 پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت به همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند.

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 در نظر گرفتن حرکت جداگانه هر یک 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.

۲-۱ 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 به‌عنوان مبدأ محور ($x=0$) در نظر می‌گیریم (شکل ۲-۳). اگر محور را مدرج کنیم، می‌توانیم مکان خودرو را در هر لحظه گزارش نماییم. یعنی مثلاً بگوییم در لحظه $t_1=5s$ ، مکان خودرو $x_1=-400m$ است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳ مکان خودرو در لحظات مختلف

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

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

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



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

بنابراین اگر متحرک در لحظه t_i در مکان x_i و در لحظه t_f در مکان x_f باشد، جابه‌جایی آن در بازه زمانی t_i تا t_f ، از رابطه ۱-۲ به دست می‌آید.

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



شکل ۵-۲- جابه‌جایی در بازه زمانی t_i تا t_f

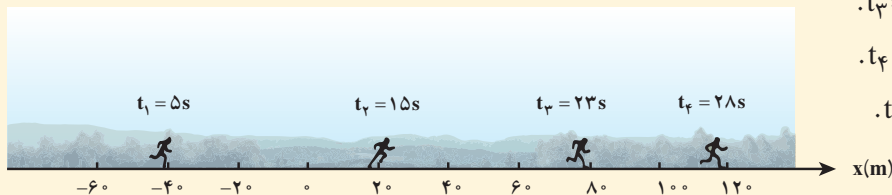
تمرین ۱-۲

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

(الف) از $t_1 = 5s$ تا $t_3 = 23s$.

(ب) از $t_2 = 15s$ تا $t_4 = 28s$.

(پ) از $t_1 = 5s$ تا $t_4 = 28s$.

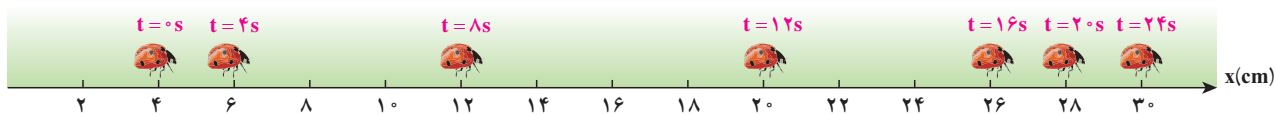


برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت، مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص می‌کنیم.

برای مثال، به حرکت کفش دوزک که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، توجه کنید. این کفش دوزک 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 کفش دوزک را رسم کنیم، ابتدا هریک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرج کرده و در زمان‌های داده شده، مکان کفش دوزک را روی محور قائم تعیین می‌کنیم و سپس نمودار مکان - زمان را همانند شکل ۲-۷ رسم می‌نماییم.

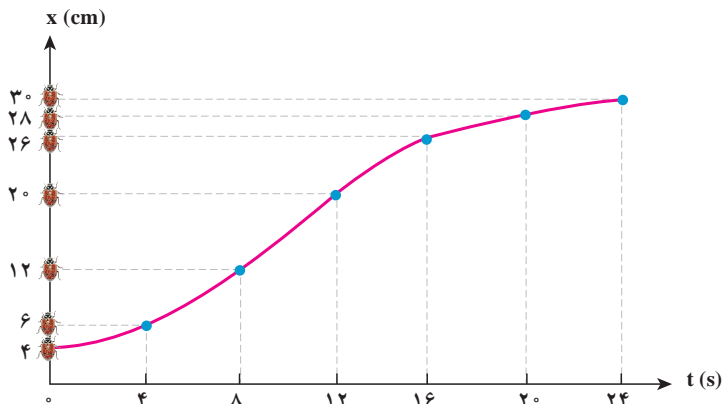


۱- حرف i از اول کلمه انگلیسی initial به معنای اولیه و حرف f از اول کلمه final به معنای نهایی گرفته شده است.



شکل ۲-۶- حرکت کفشدوزک روی خط راست

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در بازه زمانی ۱۲s تا ۱۶s جابه‌جایی آن $\Delta x = 26 - 20 = 6 \text{ cm}$ است.



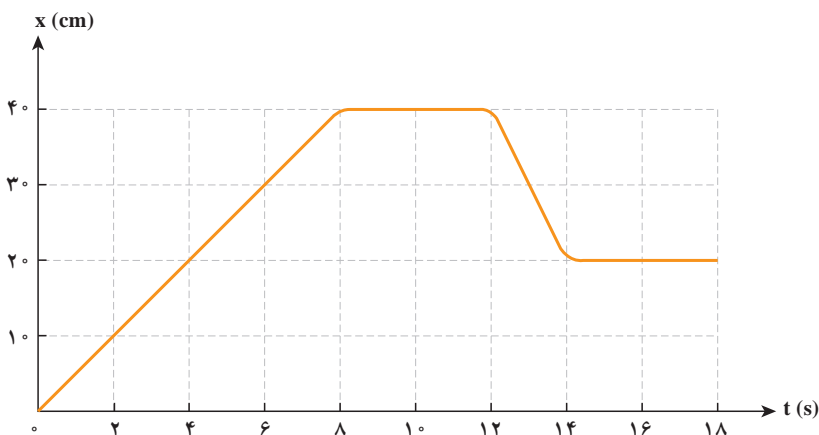
شکل ۲-۷- نمودار مکان-زمان کفشدوزک

تمرین ۲-۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	-۱	۰	۳	۸	۱۵

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

مثال ۲-۱



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 ۳۰ cm است؟
 ث) در چه بازه زمانی فاصله مورچه از مبدأ بیشترین مقدار است؟
 ج) جابه‌جایی مورچه در بازه زمانی ۴s تا ۸s چند سانتی‌متر است؟

پاسخ:

- الف) از لحظه $t=0s$ تا لحظه $t=8s$.
 ب) از لحظه $t=12s$ تا لحظه $t=14s$.
 پ) در بازه‌های زمانی $t=8s$ تا $t=12s$ و $t=14s$ تا $t=18s$.
 ت) در لحظه‌های $t=6s$ و $t=13s$.
 ث) در بازه زمانی $t=8s$ تا $t=12s$.
 ج) $\Delta x = x_f - x_i = 40 - 20 = +20 \text{ cm}$

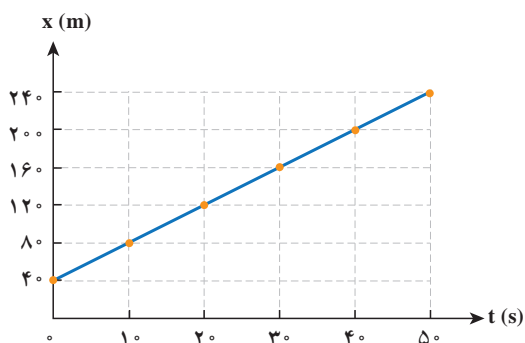
مثال ۲-۲



رابطه بین مکان و زمان برای دوچرخه‌سواری که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند، از لحظه $t=0s$ تا لحظه $t=60s$ 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 $t=0s$ تا $t=50s$ رسم کنید.
 ب) جابجایی دوچرخه‌سوار در بازه زمانی $t=0s$ تا $t=60s$ را به دست آورید.

پاسخ:

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



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

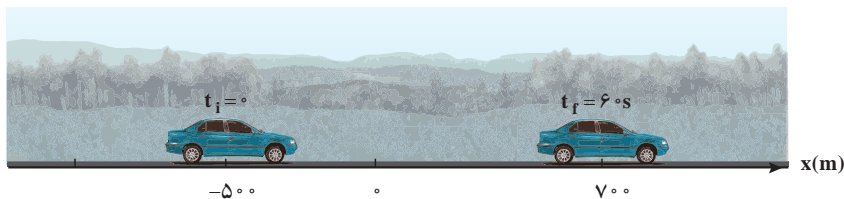
چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن، داشتن دو نقطه کافی است، با معلوم کردن مکان در دو لحظه $t=0s$ و $t=50s$ نیز می‌توان نمودار را رسم نمود.

ب)

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

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

این خودرو از لحظه $t_i = 0\text{ s}$ تا لحظه $t_f = 6\text{ s}$ به اندازه $\Delta x = x_f - x_i = 700 - (-500) = +1200\text{ m}$ در جهت محور x جابه‌جا شده است، یعنی به‌طور متوسط در هر ثانیه 200 m در جهت محور x جابه‌جا شده است ($\frac{1200\text{ m}}{6\text{ s}} = 200\text{ m/s}$). در فیزیک به نسبت جابه‌جایی به مدت زمان جابه‌جایی، سرعت متوسط جسم می‌گویند و آن را به‌صورت زیر نشان می‌دهند:

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

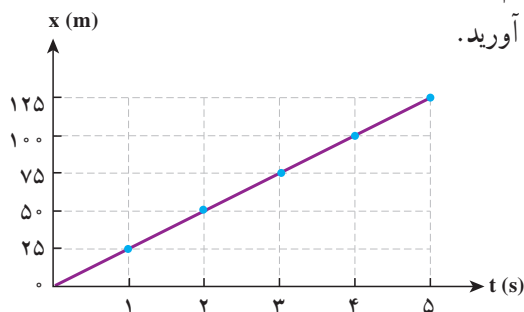
جابه‌جایی را با Δx ، زمان جابه‌جایی را با Δt و سرعت متوسط را با \bar{v} نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۲-۲ را به‌صورت زیر بنویسیم:

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

در رابطه ۳-۲ یکای Δx ، متر (m)، یکای Δt ، ثانیه (s) و یکای \bar{v} ، متر بر ثانیه (m/s) است. البته یکاهای دیگری مانند km/h، mil/h و ... نیز برای سرعت استفاده می‌شود. توجه داریم سرعت متوسط یک جسم متحرک همواره با جابه‌جایی آن هم‌جهت است.

مثال ۳-۲

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



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

- ۱- از $t = 0\text{ s}$ تا $t = 2\text{ s}$
- ۲- از $t = 0\text{ s}$ تا $t = 4\text{ s}$
- ۳- از $t = 2\text{ s}$ تا $t = 4\text{ s}$
- ۴- از $t = 2\text{ s}$ تا $t = 5\text{ s}$
- ۵- از $t = 3\text{ s}$ تا $t = 5\text{ s}$

ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به‌دست آمده در بازه‌های

زمانی مختلف، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{2 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف-۱)}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 0}{4 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف-۲)}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 50}{4 - 2} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف-۳)}$$

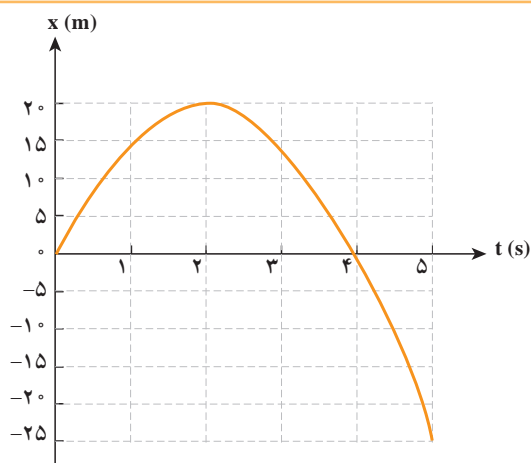
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 50}{5 - 2} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف-۴)}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 75}{5 - 3} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف-۵)}$$

ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند الف، درمی‌یابیم که سرعت متوسط

خودرو در همه بازه‌های زمانی مختلف مساوی بوده است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو، ثابت است.

مثال ۲-۴



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

الف) با استفاده از شکل، ستون مربوط به جابه‌جایی 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	$\Delta x(\text{m})$	$\bar{v}(\text{m/s})$
از $t=0\text{s}$ تا $t=2\text{s}$		
از $t=0\text{s}$ تا $t=4\text{s}$		
از $t=2\text{s}$ تا $t=4\text{s}$		
از $t=2\text{s}$ تا $t=5\text{s}$		
از $t=3\text{s}$ تا $t=5\text{s}$		

بازه زمانی	$\Delta x(\text{m})$	$\bar{v}(\text{m/s})$
از $t=0\text{s}$ تا $t=2\text{s}$	+20	+10
از $t=0\text{s}$ تا $t=4\text{s}$	0	0
از $t=2\text{s}$ تا $t=4\text{s}$	-20	-10
از $t=2\text{s}$ تا $t=5\text{s}$	-45	-15
از $t=3\text{s}$ تا $t=5\text{s}$	-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 بازه‌های زمانی که علامت سرعت متوسط، مثبت است، سرعت متوسط در جهت محور x و در بازه‌های زمانی که علامت سرعت متوسط، منفی است، سرعت متوسط در خلاف جهت محور x است.
 ت) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف، درمی‌یابیم سرعت متوسط خودرو در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو متغیر است.

سرعت متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را **سرعت لحظه‌ای** می‌گویند. در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۳ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، سرعت لحظه‌ای با سرعت متوسط برابر است؛ اما در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۴ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است، سرعت لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. توجه داریم که سرعت سنج خودرو (شکل ۲-۹) در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم سرعت لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم.

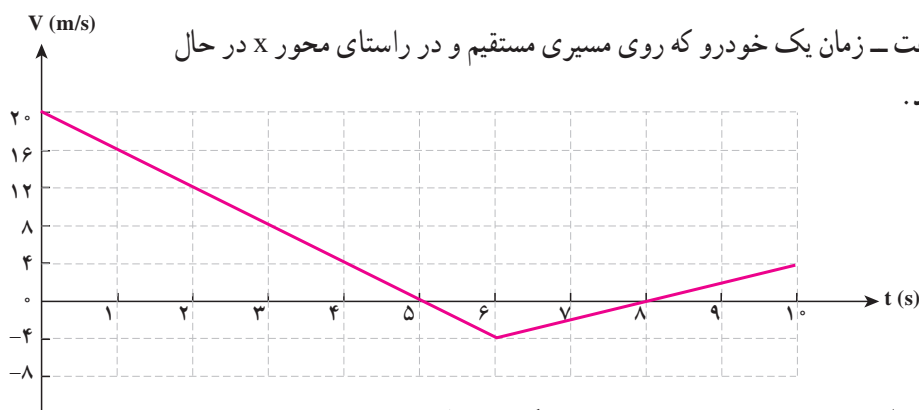


شکل ۲-۹- سرعت سنج خودرو در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد.

سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم و آن را با v نشان می‌دهیم. یکای سرعت لحظه‌ای در SI، متر بر ثانیه (m/s) است. جدول ۲-۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- برخی از سرعت‌های تقریبی

10^{-3} m/s	سرعت حلزون
2 m/s	راه رفتن سریع
10 m/s	دویده دوی سرعت
30 m/s	سرعت بیشینه خودرو در بزرگراه
500 m/s	حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا
1000 m/s	سریع‌ترین هواپیما
3000 m/s	ماهواره مخابراتی در مدار
8300 m/s	سرعت فضاپیمای خاص
$2/98 \times 10^4 \text{ m/s}$	سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^4 \text{ m/s}$	سرعت دنباله‌دار هالی
$2 \times 10^6 \text{ m/s}$	سرعت الکترون در حرکت مداری
$3/0 \times 10^8 \text{ m/s}$	سرعت نور در خلأ یا هوا



- الف) در چه بازه‌های زمانی، خودرو در جهت محور x در حرکت بوده است؟
 ب) در چه بازه‌ی زمانی، 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 $t_1=2s$ ، $t_2=6s$ ، $t_3=7s$ ، $t_4=10s$ تعیین کنید.
 ج) در بازه‌ی زمانی $t_i=0s$ تا $t_f=10s$ تغییر سرعت خودرو را به دست آورید.

پاسخ:

الف) در بازه‌ی زمانی $t=0s$ تا $t=5s$ و همچنین $t=8s$ تا $t=10s$.ب) در لحظه‌های $t=8s$ و $t=5s$.ب) در بازه‌ی زمانی $t=8s$ تا $t=5s$.ت) در لحظه‌های $t=8s$ و $t=5s$.

$$t_1=2s \Rightarrow v_1=+12\text{ m/s}$$

$$t_2=6s \Rightarrow v_2=-4\text{ m/s}$$

$$t_3=7s \Rightarrow v_3=-2\text{ m/s}$$

$$t_4=10s \Rightarrow v_4=+4\text{ m/s}$$

ج)

$$\left. \begin{array}{l} t_i=0s \Rightarrow v_i=+20\text{ m/s} \\ t_f=10s \Rightarrow v_f=+4\text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta v = v_f - v_i = 4 - 20 = -16\text{ m/s}$$

تمرین ۳-۲

- 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 نحوه‌ی تغییر سرعت متحرک بحث کنید.

t(s)	0	1	2	3	4	5
v(m/s)	0	0.7	1/2	1/5	1/6	1/5

۳-۲ حرکت یکنواخت

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی 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 ۱-۲ و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با سرعت لحظه‌ای برابر است. بنابراین:

$$\bar{v} = \bar{v} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (۴-۲)$$

از رابطه ۴-۲ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v \Delta t \quad (۵-۲)$$

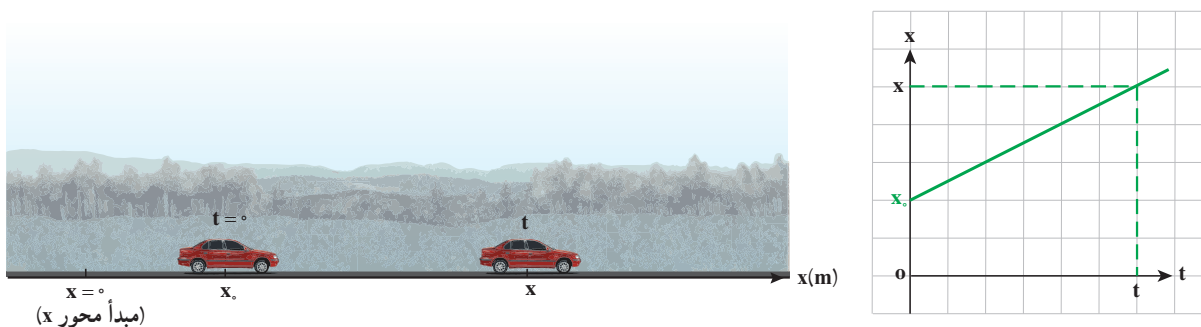
اگر متحرک در لحظه $t = 0$ در مکان x_0 و در لحظه t در مکان x باشد:

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

و یا:

$$x = vt + x_0 \quad (۶-۲)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x برحسب متر (m)، v برحسب متر بر ثانیه، t برحسب ثانیه (s)، x_0 نیز برحسب 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 ۱-۲- نمودار مکان-زمان در حرکت با سرعت ثابت با فرض مثبت بودن x و v

مثال ۲-۴

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 $t = 0$ s، $t = 100$ s، و $t = 500$ s را بر حسب متر و کیلومتر تعیین کنید.
 (پ) اگر قطار با همین سرعت به حرکت خود ادامه دهد، در مدت $1/5$ h چند کیلومتر مسافت می پیماید؟
 (ت) نمودار مکان-زمان قطار را دربارهٔ زمانی $t = 0$ s تا $t = 600$ s رسم کنید.

پاسخ:

(الف) با مقایسهٔ معادلهٔ حرکت قطار با رابطهٔ ۲-۶ معلوم می شود که سرعت قطار 20 m/s است.

$$20 \text{ m/s} = 20 \times \frac{1000 \text{ km}}{3600 \text{ h}} = 20 \times \frac{5}{18} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22.2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

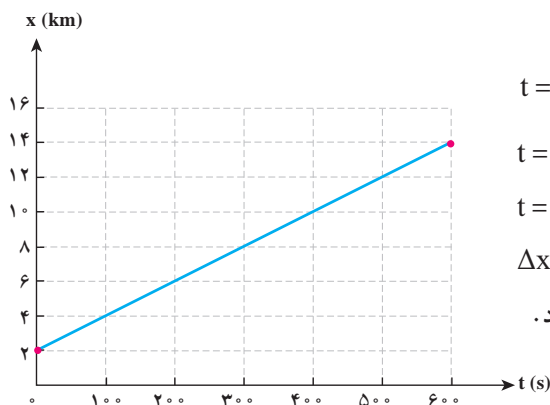
$$t = 0 \text{ s} \Rightarrow x = 2000 \text{ m} = 2 \text{ km} \quad (\text{ب})$$

$$t = 100 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 100 + 2000 = 4000 \text{ m} = 4 \text{ km}$$

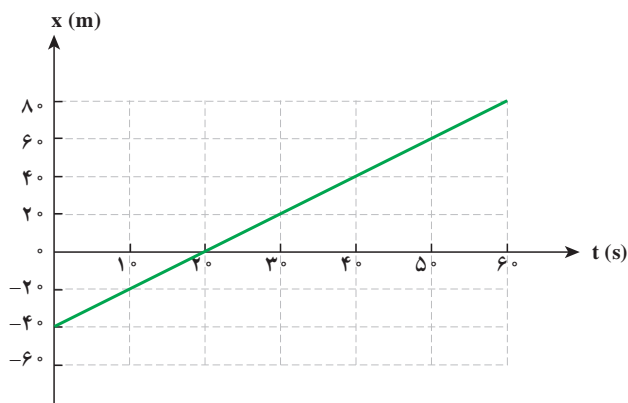
$$t = 500 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 500 + 2000 = 12000 \text{ m} = 12 \text{ km}$$

$$\Delta x = v \Delta t \Rightarrow \Delta x = 22.2 \text{ km/h} \times 1/5 \text{ h} = 4.44 \text{ km} \quad (\text{پ})$$

(ت) نمودار مکان-زمان قطار مطابق شکل روبه رو می شود.



مثال ۷-۲



- شکل مقابل نمودار مکان-زمان شخصی را نشان می دهد که با سرعت ثابت در مسیری مستقیم حرکت می کند.
 (الف) سرعت حرکت این شخص چقدر است؟ نمودار سرعت-زمان را برای آن رسم کنید.
 (ب) شخص در مبدأ زمان ($t = 0$ s) در چه مکانی قرار دارد؟

- (پ) شخص در مدت 5 min چند متر جابه جا می شود؟
 (ت) در چه لحظه هایی شخص در فاصلهٔ 20 متری مبدأ است؟

پاسخ:

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

(ب)

$$t = 0 \text{ s} \Rightarrow x_0 = -40 \text{ m} \quad (\text{پ})$$

(ت)

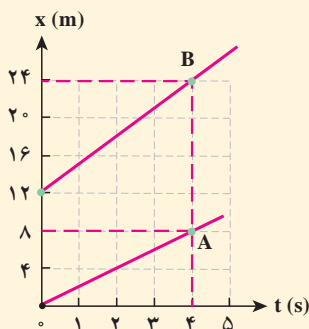
$$\Delta x = v \cdot \Delta t = 2 \times (5 \times 60) = 600 \text{ m}$$

(ت) در لحظه های $t = 10$ s و $t = 30$ s.

تمرین ۲-۴

جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظه $t_1 = 5s$ در مکان $x_1 = 6m$ و در لحظه $t_2 = 20s$ در مکان $x_2 = 36m$ باشد،
 الف) مکان متحرک در لحظه $t = 0$ و سرعت آن را بیابید.
 ب) معادله مکان - زمان را بنویسید.
 پ) نمودار مکان - زمان را رسم کنید.

تمرین ۲-۵



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

۲-۲ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که خودرو از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت سنج 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 متحرک 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:

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{زمان تغییر سرعت}} \quad (۷-۲)$$

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

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (۸-۲)$$

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

در خودرویی با سرعت 90 km/h یا در هواپیمایی با سرعت 900 km/h سفر می کنید، بدن شما هیچ حسی از این حرکت ندارد. ولی اگر خودرو یا هواپیما در مدت زمان کوتاهی تغییر سرعت دهد، این تغییر را به شدت احساس می کنید و حتی ممکن است از آن وحشت زده شوید. بخشی از هیجان ایجاد شده هنگام سوار شدن در وسایل شهربازی ها نیز ناشی از تغییرات سریع سرعت است. یعنی بدن ما به شتابها واکنش نشان می دهد اما به سرعتها واکنش نشان نمی دهد.

مثال ۸-۲

سرعت متحرکی در لحظه $t_1 = 20 \text{ s}$ برابر 10 m/s و در لحظه $t_2 = 45 \text{ s}$ برابر 20 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:

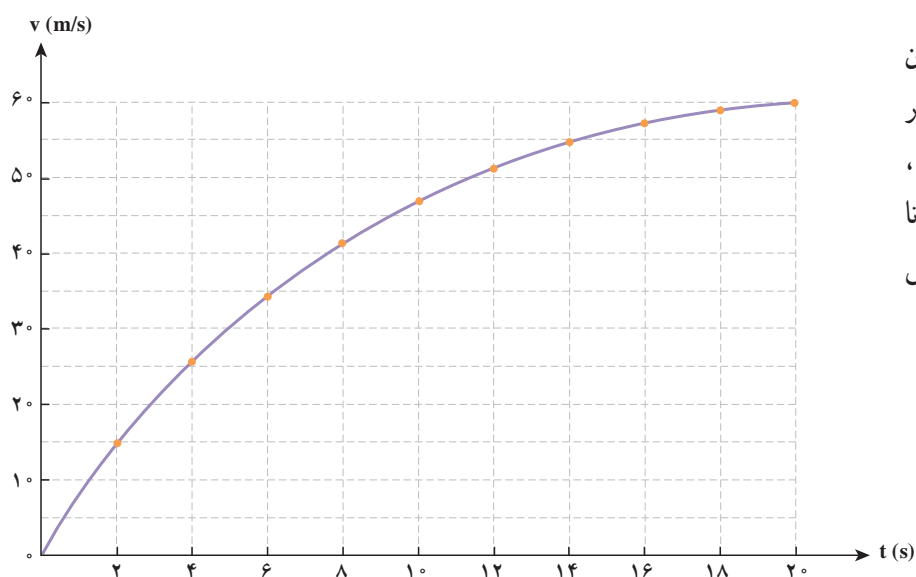
مثال ۹-۲

وقتی ملخی می خواهد بپرد، خودش را با فشار به پاهایش، از زمین بلند می کند و به این روش شتاب روبه بالا می گیرد. فیلم برداری از ملخ در این حالت، نشان می دهد ملخ به مدت 0.13 s به پاهایش فشار می آورد و در پایان این مدت سرعتش 3 m/s می شود. شتاب متوسط ملخ در این مدت چقدر است؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{3 - 0}{0.13} = 231 \text{ m/s}^2$$

پاسخ:

مثال ۱۰-۲



نمودار سرعت - زمان برای یک ماشین مسابقه که در مسیر مستقیم حرکت می کند، از لحظه شروع حرکت تا 20 s پس از این لحظه در شکل روبه رو رسم شده است.



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

$$1- t_1 = 0 \text{ s تا } t_2 = 2 \text{ s}$$

$$2- t_1 = 4 \text{ s تا } t_2 = 14 \text{ s}$$

$$3- t_1 = 14 \text{ s تا } t_2 = 20 \text{ s}$$

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

پاسخ:

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

$$2- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55 - 25}{14 - 4} = +3 \text{ m/s}^2$$

$$3- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{60 - 55}{20 - 14} = +0.8 \text{ m/s}^2$$

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 $t_1 = 14 \text{ s}$ تا $t_2 = 20 \text{ s}$ ، شتاب متوسط کمینه است.

مثال ۲-۱۱

رابطه بین سرعت و زمان برای موتورسواری که در بخشی از یک بزرگراه مستقیم حرکت می‌کند، $v = 2t + 4$ است، که t بر حسب s و v بر حسب 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:

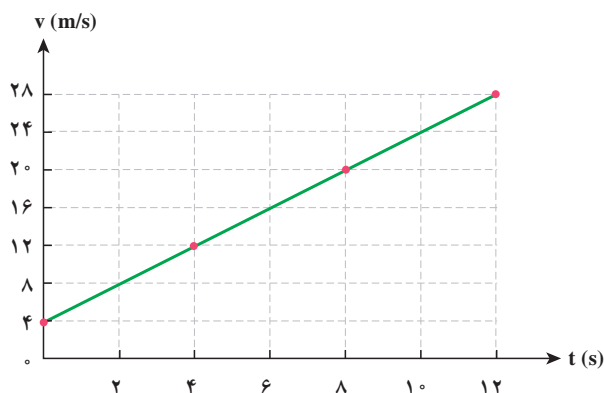
$$1) t_1 = 4 \text{ s تا } t_2 = 8 \text{ s}$$

$$2) t_1 = 0 \text{ s تا } t_2 = 4 \text{ s}$$

$$3) t_1 = 8 \text{ s تا } t_2 = 12 \text{ s}$$

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

$t_1 = 0 \text{ s}$ ، $t_2 = 4 \text{ s}$ ، $t_3 = 8 \text{ s}$ و $t_4 = 12 \text{ s}$ 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)	0	4	8	12
v(m/s)	4	12	20	28

$$\text{ب-۱)} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12-4}{4-0} = +2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ب-۲)} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20-12}{8-4} = +2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ب-۳)} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{28-20}{12-8} = +2 \text{ m/s}^2$$

پ) از مقایسه شتاب متوسط‌های به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند ب، درمی‌یابیم 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

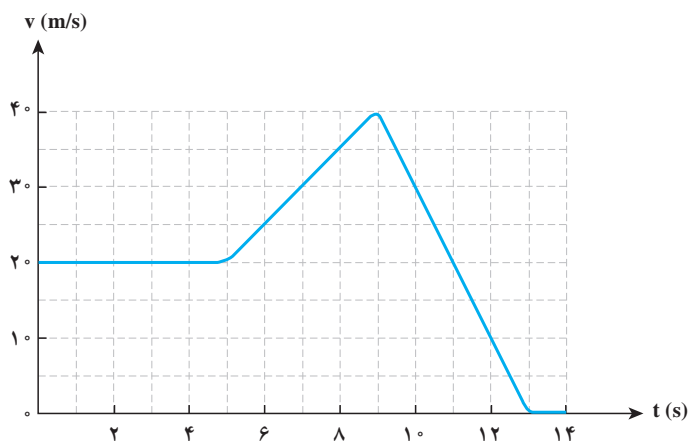
از مسیر را شتاب لحظه‌ای می‌گویند.

در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۱۱ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است، اما در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۱۰ 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 مجذور ثانیه (m/s^2) است. جدول ۲-۲ برخی از شتاب‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- برخی شتاب‌های تقریبی

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

مثال ۲-۱۳



شکل روبه‌رو 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.

$$\text{الف)} \quad t = 2 \text{ s}$$

$$\text{ب)} \quad t = 7 \text{ s}$$

$$\text{پ)} \quad t = 10 \text{ s}$$

پاسخ:

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

(الف)

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

(ب)

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

(پ)

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_i سرعت در لحظه صفر با نماد v_0 و v_f

سرعت در لحظه t با نماد v است و می‌توان نوشت:

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

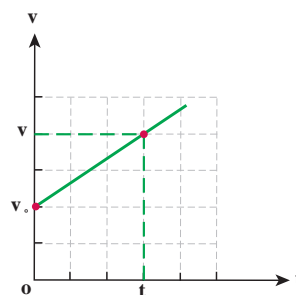
$$v = at + v_0 \quad (10-2)$$

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 v_0 و a

مثال ۱۳-۲



قطاری زیرزمینی از یک ایستگاه به راه می‌افتد، در امتداد ریل‌های

مستقیم با شتاب ثابت 1 m/s^2 حرکت می‌کند و به سرعت مناسب 20 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:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 1 = \frac{20 - 0}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 20 \text{ s} \quad (\text{الف})$$

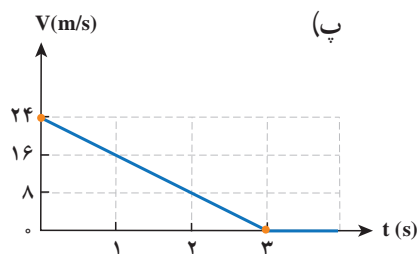
$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{0 + 20}{2} = 10 \text{ m/s} \quad (\text{ب})$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 10 = \frac{\Delta x}{20} \Rightarrow \Delta x = 200 \text{ m} \quad (\text{پ})$$

مثال ۱۴-۲

خودرویی در یک جاده مستقیم و خشک با سرعت 24 m/s در حرکت است. راننده با دیدن مانعی 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:



(پ)

$$v = at + v_0$$

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

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

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

(الف)

برای به دست آوردن رابطه ریاضی میان مکان و زمان در حرکت با شتاب ثابت، با استفاده از

رابطه‌های ۲-۳ و ۲-۱۱ داریم:

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

و از آنجا می‌توان نوشت:

$$\Delta x = \frac{v_i + v_f}{2} \Delta t \quad (2-12)$$

در این رابطه Δx جابه‌جایی در بازه Δt و v_i و v_f به ترتیب سرعت در لحظه t_i و سرعت در لحظه

t_f است. اگر متحرک در لحظه $t_i = 0$ در مکان $x_i = x_0$ دارای سرعت $v_i = v_0$ باشد و در لحظه

$t_f = t$ در مکان $x_f = x$ دارای سرعت $v_f = v$ باشد، داریم:

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

و بنا به رابطه ۲-۱۰

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

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

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

مثال ۲-۱۵

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

الف) سرعت هواپیما در لحظه بلند شدن چقدر است؟

ب) هواپیما پیش از بلند شدن چه فاصله ای را می پیماید؟

پ) نمودار مکان - زمان هواپیما را رسم کنید.

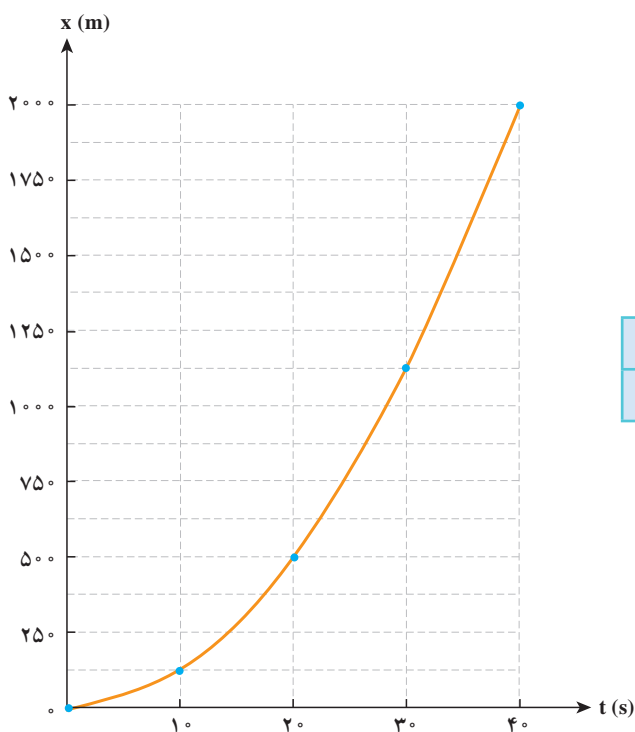
پاسخ:

$$v = at + v_0 = 2/5 \times 40 + 0 = 100 \text{ m/s}$$

الف)

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2/5 \times 40^2 + 0 = 2000 \text{ m} \quad \text{ب)}$$

پ) با استفاده از معادله $x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$ و با در نظر گرفتن $x_0 = 0$ ، مکان هواپیما را در چند لحظه متفاوت پیدا می کنیم.



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

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

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (۱۴-۲)$$

فعالیت ۱-۲

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

مثال ۱۷-۲

در یک آزمایش تصادف، خودرویی با سرعت 54 km/h با دیواری ثابت و محکم برخورد می‌کند. پس از اینکه قسمت جلوی خودرو 0.4 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)

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

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

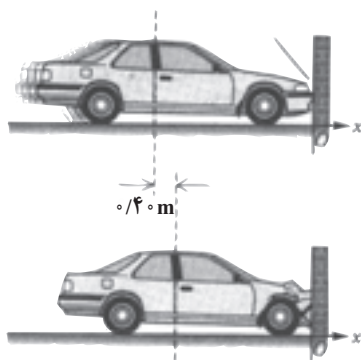
$$0 - 15^2 = 2a \times 0.4 \Rightarrow a = -28.125 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

ب)

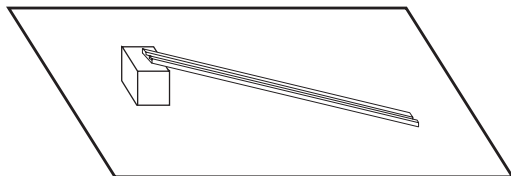
$$0 = -28.125t + 15 \Rightarrow t = 0.53 \text{ s}$$

توجه داشته باشید که در چنین تصادفی، سرنشین خودرو، به شدت آسیب می‌بیند مگر اینکه کمربند ایمنی یا کیسهٔ هوا او را نگه دارد.



آزمایش ۱-۲

وسایل لازم:



۱- تخته شیاردار یا میله پرده به طول ۲m یا بیشتر

۲- گلوله شیشه‌ای (تبله) یا فلزی

۳- زمان سنج (کرونومتر)

۴- متر نواری

شرح آزمایش: می‌توان نشان داد شتاب حرکت گلوله روی میله پرده شیب‌دار مقدار ثابتی است. می‌خواهیم این شتاب را برای طول

راه‌های مختلف اندازه بگیریم. بنابراین:

۱- یک سر میله را روی چند کتاب و یا هر وسیله در دسترس طوری قرار دهید که سر میله از زمین حدود 10° تا 20° سانتی‌متر بالاتر باشد.

۲- گلوله را در بالاترین نقطه میله قرار دهید. برای ساکن نگه‌داشتن گلوله می‌توانید با یک خط‌کش، مداد یا ... جلوی به حرکت درآمدن آن را بگیرید.

۳- فاصله $1/100$ m از محل قرار گرفتن اولیه گلوله را علامت بزنید.

۴- گلوله را رها کنید تا مسافت مورد نظر 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.

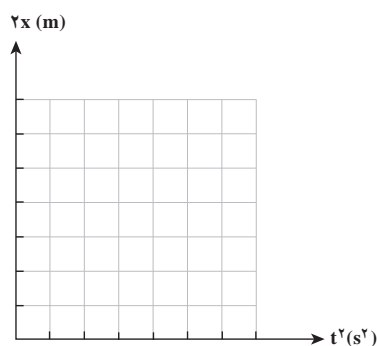
۵- اندازه‌گیری زمان حرکت را برای طول راه‌های بعدی مطابق جدول انجام دهید و نتایج را در جدول ثبت کنید.

توجه: در اجرای این آزمایش می‌توانید انتهای میله را مماس بر دیوار یا یک مانع سخت قرار دهید و آن‌گاه نقطه شروع حرکت را روی میله و در فاصله $1/100$ m و $1/20$ m 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.

ردیف	مسافت (m)	زمان (s)	$a = 2x/t^2$
۱	$1/100$		
۲	$1/20$		
۳	$1/40$		
۴	$1/60$		
۵	$1/80$		
۶	$2/100$		



ابن سینا



ابوعلی حسین بن عبدالله، ملقب به ابن سینا که در غرب به آوی سینا معروف است در سال ۳۵۹ هجری شمسی در آفشنه 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 مهم‌ترین آثار او اثر فلسفی **شفا** و کتاب دایرة المعارف **گونه‌قانون**

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 جرأتقال‌ها 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 جرأتقال‌ها هستند و سپس به خود جرأتقال پرداخته می‌شود. البته سواى این مطالب، ابن سینا در بخش طبیعیات کتاب‌های مهم خود مانند **شفا، اشارات و تنبیهات** و **دانشنامه‌ی علایی** 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 محرکه 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.

پرسش های فصل دوم

۱ بررسی کنید، کدام معادله ها می تواند مربوط به حرکت ذره ای با شتاب ثابت باشد؟

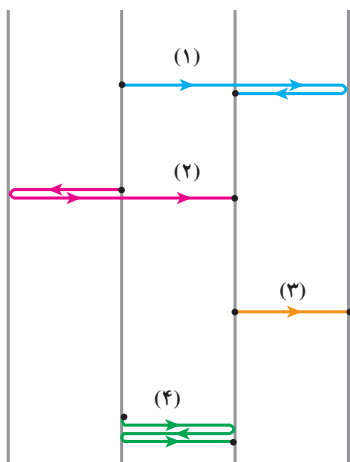
$$v = 4t^2 + 2t - 6 \text{ (ب)}$$

$$v = 3 \text{ m/s (الف)}$$

$$v = \frac{1}{4}t^2 + 5t \text{ (ت)}$$

$$v = 3t - 4 \text{ (پ)}$$

$$v = -\frac{5}{3}t + 8 \text{ (ث)}$$



۲ شکل رویه رو چهار مسیر را نشان می دهد که روی هر یک از آنها جسمی از نقطه شروع تا پایان را در بازه زمانی یکسانی می پیماید. فاصله خط های مشخص شده یکسان است.

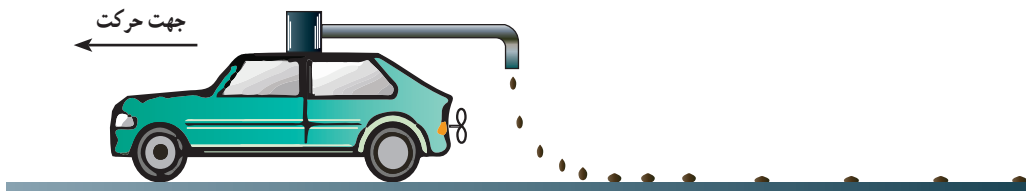
الف) اندازه سرعت متوسط متحرک در این چهار مسیر را با هم مقایسه کنید.

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

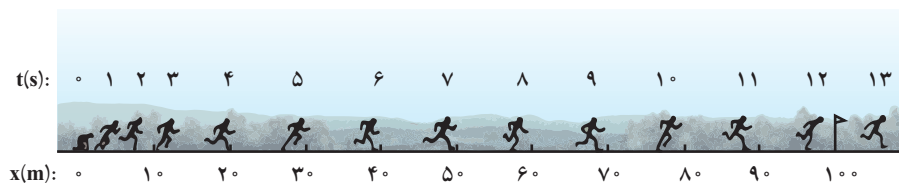
۳ ظرفی حاوی مایع رنگین که با آهنگ ثابتی چکمه می کند را مطابق شکل زیر روی یک ماشین بازی کوک شده می گذاریم و آن را

به حرکت درمی آوریم. الف) چگونه با استفاده از رد قطره های مایع رنگین می توان درباره نوع حرکت ماشین کوکی اظهار نظر کرد؟

ب) اگر رد قطره ها به شکل زیر باشد، نوع حرکت را در هر ناحیه تعیین کنید.



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

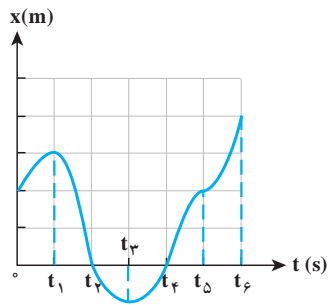


در جدول فاصله دوندۀ تا محل شروع مسابقه در لحظه های مختلف داده شده است :

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲/۵
x(m)	۰	۱	۵	۱۱	۱۹	۲۹	۳۸	۴۸	۵۸	۶۷	۷۷	۸۶	۹۵	۱۰۰

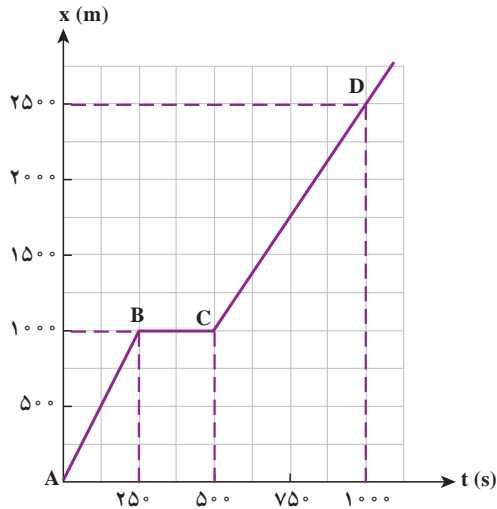
نمودار مکان - زمان دوندۀ را رسم کنید.

حرکت در فضا راست



- ۵ با توجه به نمودار مکان-زمان شکل روبه‌رو به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:
- (الف) متحرک چندبار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟
- (ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟
- (پ) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟
- (ت) سوی حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟
- (ث) جابه‌جایی کل در جهت محور x هاست یا خلاف آن؟

مسائل فصل دوم



- ۱ شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان حرکت یک دوندۀ دوی نیمه استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.
- (الف) بین کدام دو نقطه، دونده سریع‌تر 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 بازۀ زمانی $t_1=0s$ تا $t_2=1000s$ حساب کنید.

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

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

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

- ۴ راننده‌ای فاصله مستقیم بین دو شهر را به ترتیب زیر می‌پیماید.

- ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط $15m/s$ رانندگی کرده و پس از آن به مدت 10 دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط $20m/s$ به مدت 30 دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط $12m/s$ رانندگی می‌کند.
- (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 2° ثانیه، روی یک مسیر مستقیم از 1° m/s به 18 km/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° m/s به 108 کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

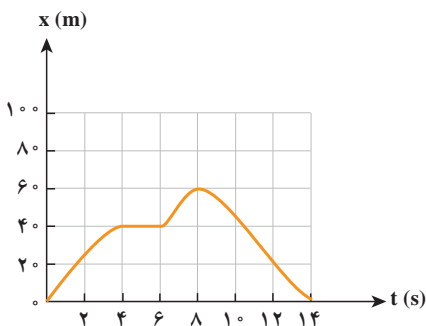
۶) سرعت فضایی 3° ثانیه پس از شروع حرکت به 12° km/h می‌رسد. شتاب متوسط آن در این مدت چقدر است؟

۷) راننده خودرویی که با سرعت 72 km/h در حرکت است، مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به طوری که پس از 8 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 روبه‌رو نمودار مکان - زمان متحرکی است که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است.



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

ب) در چه بازه زمانی دو چرخه‌سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در چه بازه‌های زمانی دو چرخه‌سوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

ت) در چه بازه زمانی، دو چرخه‌سوار ساکن است؟

ث) جابه‌جایی دو چرخه‌سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟

۹) شکل روبه‌رو نمودار مکان - زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط

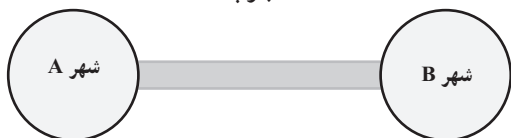
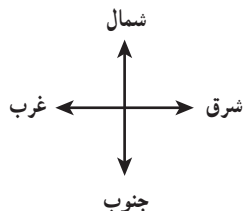
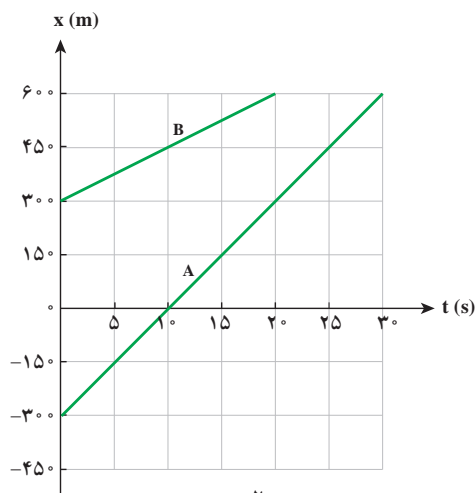
راست حرکت می‌کنند.

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 $t_1 = 15^\circ \text{ s}$ ،

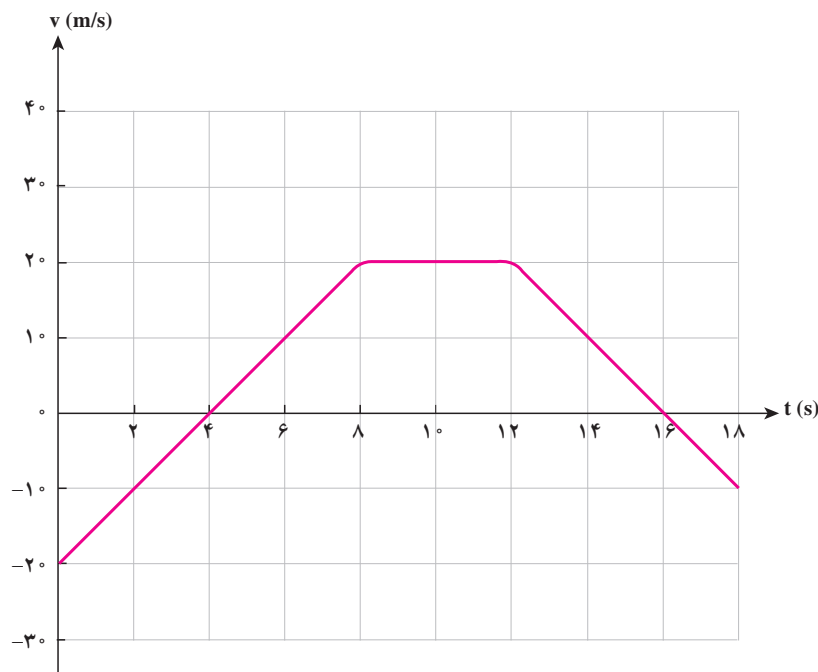
و در $t_2 = 17^\circ \text{ s}$ ، 9° km/h باشد،

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

ب) اگر در $t_3 = 18^\circ \text{ s}$ ، سرعت موتورسوار به 72 km/h برسد، شتاب متوسط

موتورسوار بین لحظه‌های t_3 و t_4 چقدر و در چه جهتی است؟

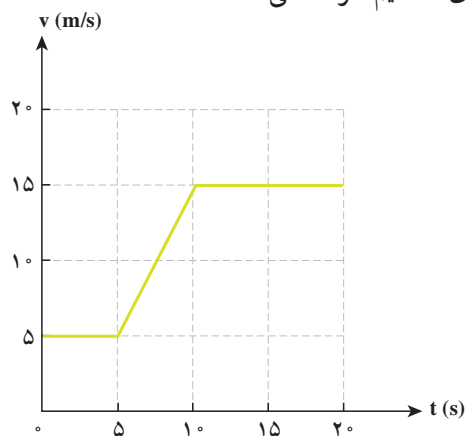
حرکت در فضا راست



۱۱ شکل روبه‌رو نمودار سرعت - زمان متحرکی است که روی یک مسیر مستقیم و در راستای محور x در حرکت است. الف) در چه بازه‌ی زمانی موتورسوار در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند؟ ب) در چه بازه‌های زمانی، موتورسوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟ پ) در چه بازه‌ی زمانی، موتورسوار با سرعت ثابت حرکت کرده است؟ ت) در چه لحظه‌هایی جهت حرکت موتورسوار تغییر کرده است؟ ث) سرعت موتورسوار در لحظه‌های $t = 0$ s و $t = 2$ s و $t = 4$ s و $t = 14$ s و $t = 18$ s را تعیین کنید.

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

۱۲ شکل روبه‌رو نمودار سرعت - زمان خودرویی را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند.



الف) شتاب در لحظه‌های $t = 3$ s، $t = 8$ s، $t = 11$ s و $t = 15$ s را به‌دست آورید. ب) شتاب متوسط در بازه‌ی زمانی $t_1 = 0$ s تا $t_2 = 20$ s را به‌دست آورید. پ) خودرو در هر یک از بازه‌های زمانی $t_1 = 5$ s تا $t_2 = 11$ s و $t_1 = 11$ s تا $t_2 = 15$ s چقدر جا به‌جا شده است؟ ت) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_1 = 5$ s تا $t_2 = 11$ s و $t_1 = 15$ s تا $t_2 = 20$ s را به‌دست آورید.

۱۳ خودرویی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از ۲۰ ثانیه سرعتش به 36 km/h می‌رسد. سپس با همین سرعت به مدت 10 دقیقه

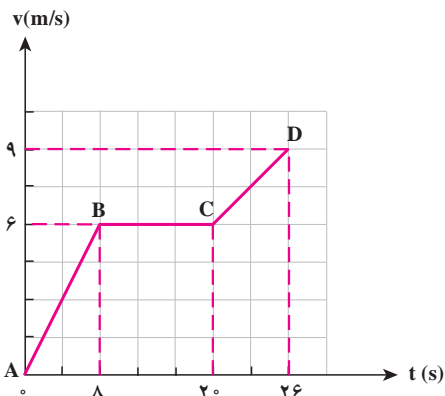
به حرکتش ادامه می‌دهد. پس از آن ترمز می‌کند و بعد از 5 ثانیه متوقف می‌شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد، الف) شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب) نمودار سرعت - زمان را از لحظه‌ی شروع حرکت تا لحظه‌ی توقف خودرو رسم کنید.

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

الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) رسیدن از سرعت 4 m/s به سرعت 18 km/h چه مدتی طول می کشد؟



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

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

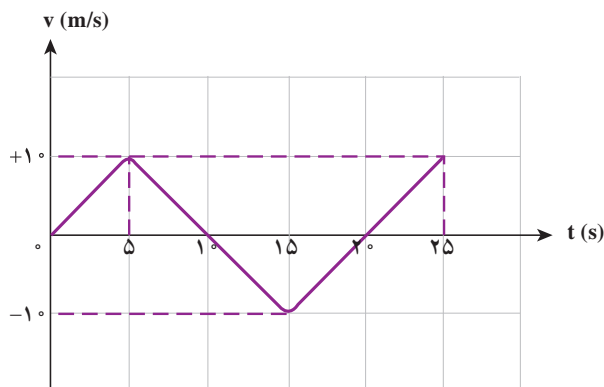
ب) شتاب متوسط در بازه زمانی صفر تا ۲۶ ثانیه چقدر است؟

۱۶ سر یک دارکوب در حین نخستین تماس منقار آن با تنه درخت، با سرعت $7/5\text{ m/s}$ روبه جلو حرکت می کند. منقار دارکوب پس از سوراخ کردن تنه 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 به دست آورید.

۱۷ سر یک مار زنگی در حین ضربه زدن به یک طعمه می تواند 5 m/s^2 شتاب بگیرد. اگر یک خودرو می توانست چنین شتابی داشته باشد، چقدر طول می کشید تا از حال سکون به سرعت 100 km/h برسد؟

۱۸ یک دوندۀ در 75 s ثانیه اول مسابقه، شتاب 8 m/s^2 می گیرد. الف) سرعت دوندۀ را در پایان 75 s اول محاسبه کنید. ب) اکنون فرض کنید دوندۀ تا آخر مسابقه با سرعت 6 m/s به دویدن ادامه دهد و پس از عبور از خط پایان حرکتش را با شتاب ثابت کند. اگر اندازه شتاب منفی دوندۀ پس از عبور از خط پایان، 2 m/s^2 باشد، پس از عبور از خط پایان چقدر طول می کشد تا دوندۀ 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 را رسم کنید.





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

ماهی‌گیران در سواحل فلپج فارس

در فصل دوم با کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود 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 به‌طور 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.

۳-۱ نیرو

در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را هل 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.



ت



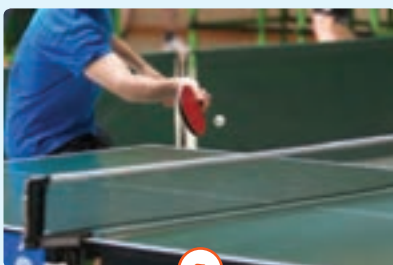
ب



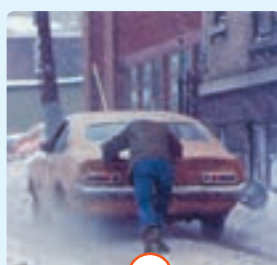
ب



الف



ج



ج



ث

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 روبه‌رو نگاه کنید. این تصویر سیبی را در حال افتادن نشان می‌دهد. پاسخ پرسش‌های زیر را در کلاس به بحث بگذارید:

الف) چه عاملی باعث سقوط سیب شده است؟

ب) این نیرو را چه جسمی به سیب وارد می‌کند؟

پ) آیا بین سیب و این جسم تماس برقرار است؟

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 آهن‌ریا، 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 برهم‌کنش (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 فوتبال را با سرعت زیاد پرتاب کنیم، باید به آن نیروی بزرگی وارد کنیم. مثلاً هنگام زدن پنالتی در بازی فوتبال برای آنکه دروازه‌بان نتواند توپ را بگیرد، باید با وارد کردن نیروی بزرگ تری 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

۲-۳ قانون‌های نیوتون درباره حرکت

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

نیوتون، دانشمند انگلیسی، با اطلاع از نظریات 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 متحرک 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 باشد ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌یابید که به آن نیرو وارد نشود؟ به 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 نزدیک 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 وضعیت جسم سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند. به این ویژگی اجسام **لختی** گفته می‌شود. به همین مناسبت به قانون اول نیوتون **قانون لختی** نیز می‌گویند.

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به صندلی فشرده می‌شوید و اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید در توقف ناگهانی به جلو پرتاب می‌شوید. علت این پدیده‌ها 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 می‌کند.» اما آزمایش‌ها نشان می‌دهند اگر بر جسم نیرو وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد. 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 می‌گیرد که با برآیند نیروهای وارد بر جسم نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»

اگر جرم جسم m و برآیند نیروهای وارد به آن $\vec{F}_{\text{برآیند}}$ باشد، قانون دوم نیوتون با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{برآیند}}}{m}$$

و یا

$$\vec{F}_{\text{برآیند}} = m \vec{a}$$

(۱-۳)

یکای نیرو در SI نیوتون (N) است که از رابطه ۱-۳ تعریف می‌شود. اگر در این رابطه جرم برحسب کیلوگرم (kg) و شتاب برحسب متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) قرار داده شود، نیرو برحسب $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ خواهد شد که آن را نیوتون (N) می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون نیرویی است که اگر بر جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه می‌دهد.»

مثال ۱-۳

جسمی به جرم 500 g 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

$$a = \frac{F_{\text{برآیند}}}{m} = \frac{2}{0.5} = 4 \text{ m/s}^2$$

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

مثال ۲-۳

به دو توپ به جرم‌های $m_1 = 100 \text{ g}$ و $m_2 = 300 \text{ g}$ نیروی 15 N وارد می‌کنیم. بزرگی شتاب هر توپ را حساب کنید.

پاسخ:

$$a = \frac{F_{\text{برآیند}}}{m}$$

$$a_1 = \frac{F_{\text{برآیند}}}{m_1} = \frac{15}{0.1} = 150 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = \frac{F_{\text{برآیند}}}{m_2} = \frac{15}{0.3} = 50 \text{ m/s}^2$$

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

قانون سوم نیوتون: وقتی با دست دیوار را هل می دهیم، حس می کنیم که دیوار نیز ما را هل می دهد. به این ترتیب در برهم کنش دست ما و دیوار دو نیرو وجود دارد. اگر نیروی دست خود به دیوار را **نیروی کنش** بنامیم، نیروی دیوار به دست ما **نیروی واکنش** نامیده می شود. همین طور درست است که نیروی دیوار به دستمان را نیروی کنش و نیروی دست ما به دیوار را نیروی واکنش بنامیم. نکته مهم این است که در مکانیک کلاسیک نیروهای کنش و واکنش همیشه همراه هم ظاهر می شوند و هیچ یک بدون دیگری نمی تواند وجود داشته باشد.

قانون سوم نیوتون رابطه کمی میان نیروهای کنش و واکنش را به صورت زیر بیان می کند:

«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند جسم دوم نیز به جسم اول نیروی هم اندازه ولی در

خلاف جهت آن وارد می کند.»

برای مثال در شکل ۲-۳ نیروهای $F_{۱۲}$ (نیروی که جسم اول به جسم دوم وارد می کند) و $F_{۲۱}$ (نیروی که جسم دوم به جسم اول وارد می کند) و واکنش (عمل و عکس العمل) هستند.

$$\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱} \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱}$$

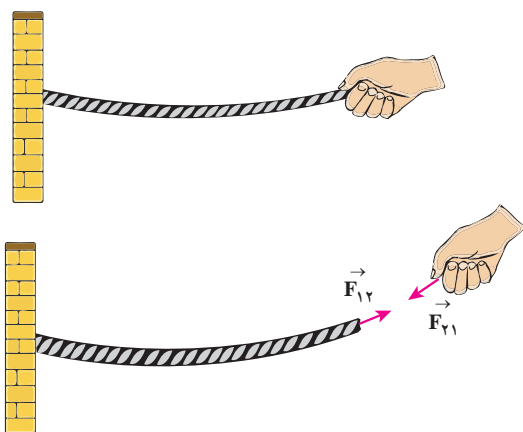


شکل ۲-۳. دو آهن ربای میله ای که روی دو گاری سوار شده اند بر هم نیرو وارد می کنند

در مورد نیروهای کنش و واکنش توجه کنید که:

- این دو نیرو همواره هم اندازه، هم راستا و در سوهای مخالف یکدیگرند.
- این دو نیرو به دو جسم وارد می شوند.
- این دو نیرو هم نوع اند. به عنوان مثال هر دو گرانشی اند یا هر دو الکتریکی اند یا ...

مثال ۳-۳



مطابق شکل، یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر دیگر آن را با دست می کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کنش 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 نامیده ایم.

$$\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱} \Rightarrow \text{کنش و واکنش}$$

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



برخورد دست با کیسه بوکس



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 می‌کنیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟ چرا آب دریاها دچار 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 مجذور فاصله آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد.»

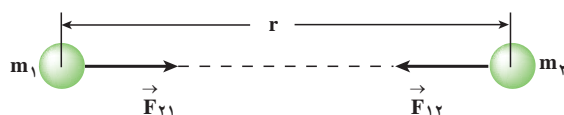
اگر جرم دو ذره m_1 و m_2 و فاصله میان آنها مطابق شکل ۳-۳ برابر r باشد، اندازه نیروی گرانشی میان دو ذره (F) از رابطه ۳-۲ به دست می‌آید:

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

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

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 ۳-۴

دو جسم به جرم‌های 5 kg و 6 kg در فاصله یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آنها را محاسبه کنید.

پاسخ:

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

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5 \times 6}{1^2} = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$$

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

ملاحظه نیست.

تمرین ۳-۲

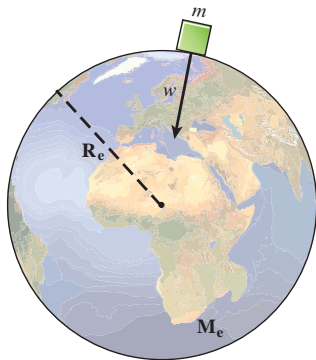
جرم زمین تقریباً $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ و شعاع زمین تقریباً $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ است. نیروی گرانشی زمین که به شما وارد

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^۱. اگر جرم جسم را با m ، جرم زمین را با M_e و شعاع آن را با R_e نشان دهیم داریم:

$$W = F_{\text{گرانشی}}, \quad F_{\text{گرانشی}} = G \frac{M_e \cdot m}{R_e^2}$$

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



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 ۳-۴). بنابراین براساس قانون دوم نیوتون می‌توان نوشت:

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

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

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

آن‌گاه رابطه ۳-۳ را می‌توانیم با استفاده از رابطه ۴-۳ به صورت زیر بنویسیم^۲:

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

شکل ۳-۴ - 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.

مثال ۳-۵

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

فعالیت ۳-۱۴

- 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 ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

۱- اول حرف Weight

۲- رابطه ۳-۳ با فرض چشم‌پوشی از چرخش زمین برقرار است.

نیروی عمودی سطح: جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۳-۵ روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر m باشد، نیروی وزن $W = mg$ را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به سوی پایین می‌کشد. چرا جسم رو به پایین به حرکت در نمی‌آید؟

همان‌طور که مشاهده می‌شود، جسم ساکن و شتاب حرکت آن صفر است ($a = 0$). از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است ($F = ma = 0$). در نتیجه باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد شود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل ۳-۵ این نیرو از سطح میز به جسم وارد می‌شود. در شکل ۳-۶ نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده‌اند. نیروی \vec{N} که از طرف میز بر جسم وارد می‌شود و بر سطح میز عمود است را «نیروی عمودی سطح» می‌نامیم. برای این شکل با استفاده از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود:

$$F_{\text{برآیند}} = ma = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

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 می‌شود. در این حالت اسفنج به جسم نیرو وارد می‌کند. 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 مولکول‌های سطح میز را با نیروی فنرهایی که مولکول‌ها را به هم وصل می‌کند مدل‌سازی کنیم، با قرار گرفتن جسم روی سطح میز مثل آن است که فنرها فشرده یا کشیده می‌شوند (شکل ۳-۷) و نیروی برآیندی روبه بالا به جسم وارد می‌کنند که همان نیروی عمودی سطح است.

اکنون 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 می‌کند، تغییر می‌کند؟ با روش مشابه قبل می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد.

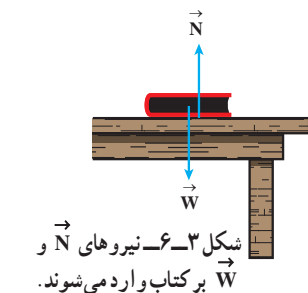
نیروهای وارد بر جسم را در شکل ۳-۹ نشان داده‌ایم. چون شتاب جسم صفر است بنا به قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_{\text{برآیند}} = ma = 0$$

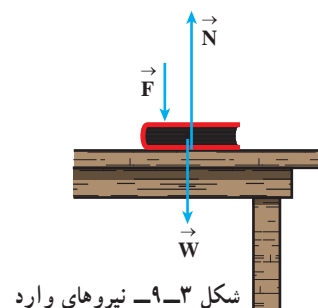
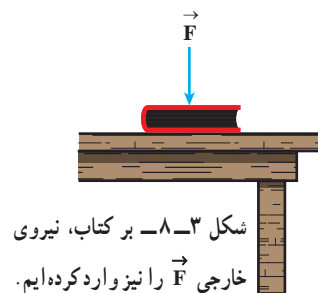
$$N - F - W = 0$$

$$N = F + W$$

بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.

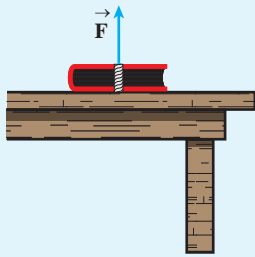


شکل ۳-۷ نیروی بین مولکول‌های سطح میز با فنرهایی شبیه‌سازی شده است. با قرار گرفتن کتاب، فنرها فشرده شده‌اند.



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

فعالیت ۳-۵



فرض کنید مطابق شکل، طنابی را به دور یک جسم بسته‌ایم و آن را با نیرویی به بزرگی F به سوی بالا می‌کشیم. 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.

فعالیت ۳-۴



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

(الف) ساکن روی ترازو ایستاده‌اید.

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

(پ) با دست میز را به بالا بکشید.

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

مثال ۳-۴

شخصی به جرم 50 kg درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که کف آسانسور به شخص وارد می‌کند را در حالت‌های زیر محاسبه کنید:

(الف) آسانسور ساکن است.

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

(پ) آسانسور با شتاب روبه بالای 1 m/s^2 به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

g را برابر 10 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:

$$a = 0$$

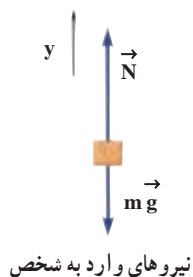
$$F_{\text{برابند}} = N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

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



(الف)



(ب)

(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 برآیند نیروها نیز رو به بالا خواهد بود.

$$F_{\text{برآیند}} = ma$$

$$N - W = ma$$

$$N - 500 = 50 \times 1$$

$$N = 550 \text{ N}$$

تمرین ۳-۳

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

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.

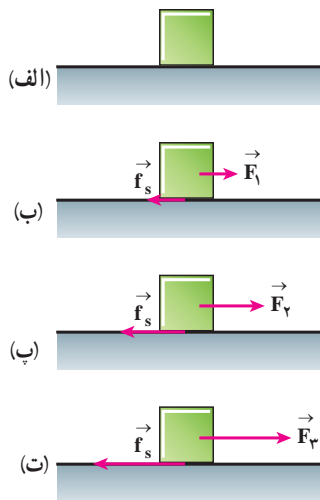
جسمی را در نظر بگیرید که آن را با کشیدن یا هل دادن روی سطح افقی به حرکت درآورده‌اید. اگر دست از کشیدن یا هل دادن جسم بردارید سرعت آن کاهش می‌یابد و پس از مدتی می‌ایستد.

با توجه به اینکه نیرو عامل تغییر 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 برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند \vec{f}_s به جسم وارد شده باشد تا با خنثی کردن اثر نیروی \vec{F}_1 ، مانع شتاب گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی \vec{f}_s از

دینامیک



شکل ۳-۱۰ با افزایش نیروی پیشران F ، f_s افزایش می‌یابد تا اینکه به یک مقدار بیشینه معین برسد.

طرف سطح به جسم وارد می‌شود. به این نیرو، «نیروی اصطکاک ایستایی» می‌گوییم.

$$F_{\text{براند}} = ma = 0$$

$$F_1 - f_s = 0$$

$$f_s = F_1$$

اکنون فرض کنید اندازه نیروی F_1 را افزایش داده و به اندازه F_2 رسانده‌ایم (شکل ۳-۱۰ پ). 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 ۳-۱۰ 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.

$$f_{s,\text{max}} = \mu_s N \quad (۶-۳)$$

در این رابطه μ_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 μ_s کمیتی بدون یکا است. توجه کنید که رابطه ۶-۳ فقط در حالتی به کار می‌رود که جسم در آستانه حرکت باشد. بنابراین:

$$f_s \leq \mu_s N \quad (۷-۳)$$

تمرین ۳-۱۴

اگر در شکل ۳-۱۰، بزرگی نیروهای $F_1 = 2\text{N}$ ، $F_2 = 4\text{N}$ ، $F_3 = 6\text{N}$ 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 μ_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 دستتان 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 می‌دهد، برابر با نیروی اصطکاک در آستانه حرکت است. این عدد را در جدول یادداشت کنید.
- ۴- اکنون مکعب چوبی را از طرف وجه کوچک تر 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 اندازه‌گیری جرم هر قطعه و استفاده از رابطه ۳-۶ مقدار μ_s در هر آزمایش را محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

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

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

ب) نیروی اصطکاک جنبشی: دیدیم بر جسمی که روی سطحی می‌لغزد (مانند اسکی‌باز شکل ۳-۱۱) نیرویی از طرف سطح وارد می‌شود که موازی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. این نیرو را که نیروی اصطکاک جنبشی نامیدیم با f_k نشان می‌دهیم. آزمایش نشان می‌دهد 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 μ_k نشان می‌دهند و به آن **ضریب اصطکاک جنبشی** می‌گویند.



شکل ۳-۱۱- اسکی‌باز بر سطح برف می‌لغزد.

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

(۳-۸)

جدول ۳-۱- ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی

μ_s	μ_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 نیشه
-	۰/۲	چوب اسکی موم اندود شده بر برف در 10°C -
-	۰/۰۵	چوب اسکی موم اندود شده بر برف در 0°C
≈ 1	≈ 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 دو سطح، کمتر از ضریب اصطکاک ایستایی میان آن دو سطح است. یعنی $\mu_k < \mu_s$. 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 μ_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 هل 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 ۰/۴ 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 برایندهای نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

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

$$\Rightarrow N = 750 \text{ N}$$

با استفاده از رابطه ۳-۸ داریم :

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow f_k = 0/4 \times 750 \Rightarrow f_k = 300 \text{ N}$$

مثال ۳-۸

در مثال ۳-۷ اگر شخص کمد را با نیروی $F = ۳۳۰\text{N}$ 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

$$F_{\text{برایند}} = ۳۳۰ - ۳۰۰ = ۳۰\text{N}$$

$$F_{\text{برایند}} = ma \Rightarrow ۳۰ = ۷۵a$$

$$a = \frac{۳۰}{۷۵} = ۰/۴\text{m/s}^2$$

و در نتیجه

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

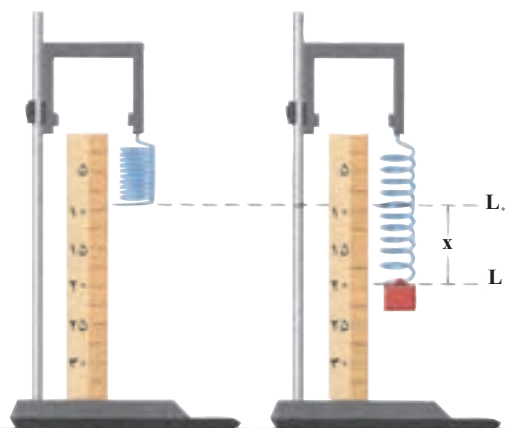
افزایش دهید افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

آزمایش ۳-۲

وسایل لازم: فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت، خط‌کش

شرح آزمایش:

- ۱- فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.
- ۲- وزنه‌های 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.
- ۳- 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 ۲-۳ 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:

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

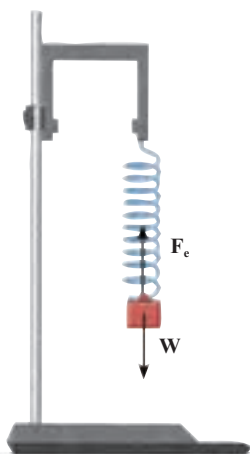
ضریب k در رابطه ۹-۳، ثابت فنر نام دارد. ثابت فنر از مشخصات فنر است. در رابطه ۹-۳ نیرو بر حسب نیوتون (N)، x بر حسب متر (m) و k بر حسب نیوتون بر متر (N/m) است.

فعالیت ۸-۳

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

نیز هست؟

مثال ۹-۳



ثابت یک فنر 50 N/m و طول آن 10 cm است. فنر را از یک نقطه می‌آویزیم و به انتهای آن وزنه 200 g گرمی وصل می‌کنیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

پاسخ:

$$F_{\text{برایند}} = ma$$

$$F_e - W = 0$$

$$kx = mg$$

$$50 \cdot x = 0.2 \times 10$$

$$x = 0.4 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

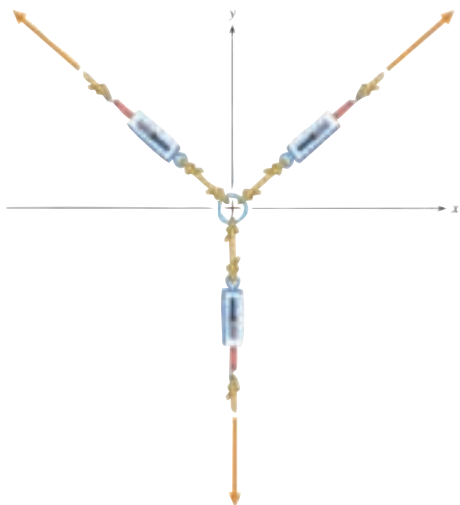
$$x = L - L_0 \Rightarrow 4 = L - 10 \Rightarrow L = 14 \text{ cm}$$

گفتیم نیرو کمیته برداری است. با اجرای آزمایش ۳-۳ می‌توانید بررسی کنید که آیا نیرو از

جمع برداری پیروی می‌کند یا نه؟

آزمایش ۳-۳

وسایل لازم : سه عدد نیروسنج، یک حلقه، چند برگ کاغذ سفید
شرح آزمایش :



- ۱- حلقه را روی صفحه کاغذ قرار دهید و نیروسنجها را مطابق شکل به حلقه وصل کنید.
- ۲- سه نفر از اعضای گروه، هر کدام یکی از نیروسنجها را به گونه ای 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 متوازی الاضلاع در جمع بردارها، برآیند دوتا از نیروها را رسم کنید و نشان دهید که بردار برآیند هم اندازه با بردار سوم و در خلاف جهت آن است.

۳-۴ استفاده از قانون های نیوتون درباره حرکت

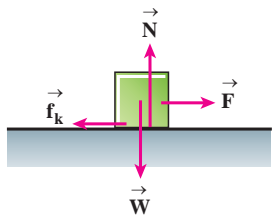
در این کتاب از آنچه در مورد قانون های نیوتون و معرفی نیروها یاد گرفتیم برای حل مسئله هایی استفاده می کنیم که در آنها نیروهای وارد بر جسم در یک راستا و یا بر یکدیگر عمود باشند. برای این منظور، به طور معمول مرحله های زیر را طی می کنیم.

- ۱- با مشخص کردن جسم مورد نظر شکل ساده ای از آن را رسم می کنیم.
- ۲- نیروهای وارد بر جسم از طرف اجسام دیگر را مشخص و رسم می کنیم. (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 می کنیم.
- ۴- قانون دوم نیوتون ($\vec{F}_{\text{برآیند}} = m\vec{a}$) را بنا به نیاز در راستای قائم و سپس افقی به کار می بریم.

مثال ۳-۱۰



در شکل روبه رو، کارگری سورتمه حاوی بار را با نیروی افقی 270 N می کشد. اگر جرم سورتمه و بار آن 100 kg و ضریب اصطکاک جنبشی بین سورتمه و سطح 0.25 باشد، شتاب حرکت سورتمه را حساب کنید. ($g = 10\text{ N/kg}$)



پاسخ: در شکل روبه‌رو، نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است. شتاب جسم در راستای قائم صفر و جسم در این راستا حرکت نمی‌کند. بنابراین:

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

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

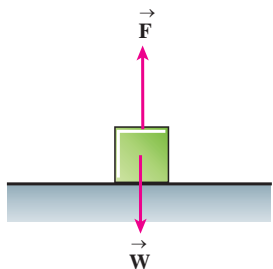
قانون دوم نیوتون را برای نیروهای وارد بر جسم در راستای افقی به کار می‌بریم:

$$F_{\text{برآیند}} = ma \Rightarrow F - f_k = ma \Rightarrow 270 - 250 = 100a \Rightarrow a = 0.2 \text{ m/s}^2$$

مثال ۱۱-۳

جسمی به جرم 2 kg روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم می‌بندیم و طناب را با نیروی 25 N به طور قائم بالا می‌کشیم. شتاب حرکت جسم چقدر می‌شود؟

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



$$F_{\text{برآیند}} = ma$$

$$F - W = ma$$

$$25 - 20 = 2a$$

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

مثال ۱۲-۳

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

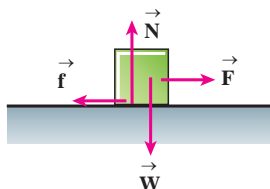
پاسخ: چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطه $v = at + v_0$ استفاده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = at + v_0$$

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

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

نیروهای وارد بر جسم در شکل نشان داده شده است.



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

$$F_{\text{برآیند}} = ma$$

$$F - f_k = ma$$

$$10/8 - f_k = 4 \times 1.2 \Rightarrow f_k = 6 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{f_k}{N} \Rightarrow \mu_k = \frac{6}{40} = 0.15$$

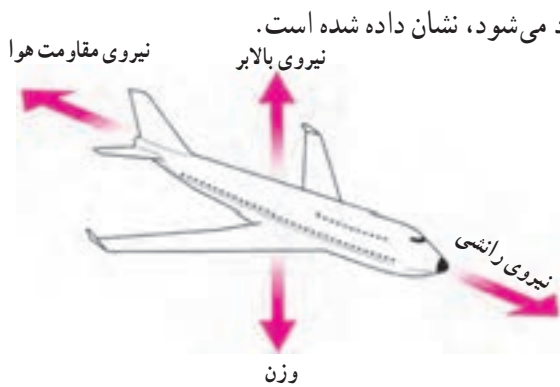
آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت:

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 عمده شهرت آنها به سبب فعالیت‌های علمی آنان است. بنوموسی در تلاش برای دستیابی به علوم، اشخاصی را با هزینه شخصی به سرزمین روم می‌فرستادند و مترجمان را با دادن عطایا و بخشش‌های گزاف به مرکز خلافت جلب می‌کردند. محمد خود به آسیای صغیر سفر می‌کرد تا نسخه‌های کتب را خریداری کند. در حقیقت بنوموسی به‌طور مستقل، و نه به دستور خلفا، به جمع‌آوری کتب علمی و فلسفی و ترجمه 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 چگالی سنج، فواره 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. **هاووزر** در کتاب جداگانه‌ای به شرح و بررسی کتاب **الحیل** پرداخت. این کتاب در سال ۱۳۸۵ ه. ش. به انگلیسی ترجمه شد و در مقدمه 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 الاشکال البسیطة** و **الکریه** در هندسه، **رؤية الهلال** و **الدرجات فی طبایع البروج** در نجوم اشاره کرد.

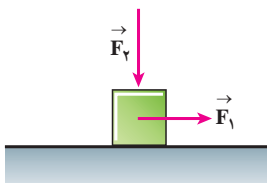
- ۱ کمر بند نجات در خودرو چگونه در جاده ها، سرنشینان خودرو را از وارد شدن صدمه های احتمالی حفظ می کند؟
- ۲ در فیلمی علمی - تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای خلأ خارج از جو زمین و دور از هر سیاره ای در حرکت است، از کار می افتد. در نتیجه کشتی فضایی گند شده و می ایستد. آیا این تصویری صحیح از واقعیت است؟ قانون اول نیوتون درباره این رویداد چه می گوید؟
- ۳ در هر یک از مورد های زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می شود؟
الف) سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید
ب) تویی که به دیوار برخورد می کند.
پ) قایقی ساکن بر آب یک دریاچه



- بزرگی این نیروها را در موقعیت های زیر بیان کنید.
الف) هواپیما در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می کند.
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 مورد های زیر، شکل ساده ای 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.

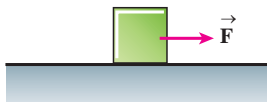
- ۶ آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگ تر از g رو به پایین حرکت کند؟ توضیح دهید.
- ۷ فرض کنید فضا نوردی روی یک سیاره فرود آید که در آن $g = 19/6 \text{ m/s}^2$ است. آیا قدم زدن روی این سیاره در مقایسه با زمین ساده تر است یا سخت تر؟

- ۸ نیروی قائم \vec{F} بر قطعه ای به جرم m که روی زمین قرار دارد، وارد می شود. اگر بزرگی نیروی \vec{F} از صفر افزایش یابد، در هر یک از موارد زیر نیروی عمودی سطح (\vec{N}) چگونه تغییر می کند؟
الف) \vec{F} رو به پایین باشد.
ب) \vec{F} رو به بالا باشد.



- I) بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی f_s وارد بر جعبه
II) بزرگی نیروی عمودی سطح N وارد بر جعبه
III) مقدار پیشینه نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه
ب) آیا جعبه سرانجام خواهد لغزد؟

- ۱ دونه‌ای به جرم 6°kg با شتاب 5m/s^2 شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.
الف) اندازه نیرویی که این شتاب را به دونه می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونه وارد می‌شود؟
ب) واکنش نیرویی را که در قسمت الف) محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟
- ۲ دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند، تحت تأثیر نیروهای یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان t ، سرعت آنها به ترتیب برابر v_1 و v_2 شود، نسبت $\frac{v_2}{v_1}$ را محاسبه کنید.
- ۳ خودرویی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت 100m با شتاب ثابت، سرعتش به 20m/s می‌رسد. براینده نیروهای وارد بر خودرو را در این حرکت محاسبه کنید.
- ۴ خودرویی به جرم 900kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از 8s به سرعت 12m/s می‌رسد.
الف) براینده 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 450N باشند، محاسبه کنید.
- ۵ خودرویی به جرم 1200kg با سرعت 72km/h روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و خودرو پس از پیمودن مسافت 100m 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؟ شعاع زمین را 6370km 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 $6 \times 10^{24} \text{kg}$ ، جرم ماه $7/4 \times 10^{22} \text{kg}$ ، فاصله ماه از زمین $4 \times 10^5 \text{km}$ و $G = 6/7 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ در نظر بگیرید.)
- ۸ در سه آزمایش، سه نیروی افقی متفاوت بر قطعه‌ای که بر سطح تختی قرار گرفته است، وارد می‌شود. بزرگی این نیروها عبارتند از $F_1 = 4 \text{N}$ ، $F_2 = 8 \text{N}$ و $F_3 = 12 \text{N}$. در هر آزمایش، قطعه به رغم نیروی وارد بر آن ساکن باقی می‌ماند.
الف) نیروی اصطکاک ایستایی f_s 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 10m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر $0/2$ است.
الف) جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول 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 5kg روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی F را وارد می‌کنیم.

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

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

۱۱ می‌خواهیم به جسمی که جرم آن 5kg است، شتاب 2m/s^2 بدهیم. نیرویی را که باید به آن وارد کنیم در هر یک از حالت‌های زیر محاسبه کنید:

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک 0.2 به طرف راست حرکت می‌کند، 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 وزنه‌ای به جرم 2kg را به انتهای فنری به طول 12cm که ثابت آن 20N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت 2m/s رو به پایین در حرکت است.

پ) آسانسور با شتاب ثابت و روبه پایین 2m/s^2 از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

ت) آسانسور با شتاب ثابت و روبه بالای 2m/s^2 از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۳ برای یک راننده دانستن مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد 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 راننده‌ای 0.6s است. در طی این زمان، خودرو 24m طی می‌کند. سرعت خودرو را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می‌کند و خودرو پس از 1s متوقف می‌شود. شتاب کاهنده خودرو را حساب کنید.

ث) وقتی خودرو ترمز کند، برآیند نیروهای وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را 1t فرض کنید.



کار و انرژی

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



تفت 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 دقیق‌تری از نوع‌های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می‌شود.

۱-۴ کار

همه‌روزه با افرادی مواجه هستیم که در حال انجام فعالیت‌های متفاوتی هستند. نجار را می‌بینیم که در حال اره و یا رنده کردن است. در فعالیت‌های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محل دیگر حمل می‌کنند و ... البته بعضی از 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؟

در بسیاری از فعالیت‌هایی که انجام می‌شوند:

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

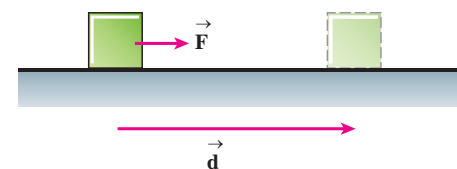
به‌عنوان مثال، در شکل ۱-۴ الف پسر به جعبه نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل ۱-۴ ب مادری به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. کار در فیزیک را برای مثال‌هایی که در آنها بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود، به‌صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف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

$$W_F = Fd$$

(۱-۴)

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

شکل ۲-۴ بر جسم نیروی \vec{F} وارد می‌شود و جسم هم‌سو با نیرو به اندازه d جابه‌جا می‌شود.



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

مثال ۱-۴

در شکل ۱-۴ ب اگر شخص نیروی افقی برابر ۴N را به کالسکه وارد و آن را به اندازه ۱۰m جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

پاسخ: بر طبق رابطه ۱-۴ داریم:

$$W = Fd$$

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

مثال ۲-۴

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

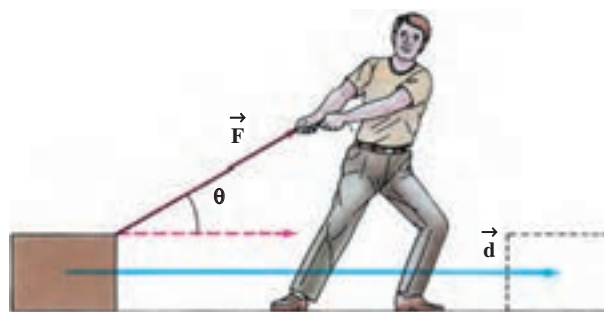
پاسخ:

$$W = Fd$$

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

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

$$W_F = Fd \cos \theta \quad (۲-۴)$$



شکل ۳-۴ - مرد با نیروی F که با راستای افق زاویه θ می‌سازد، جعبه را به اندازه d جابه‌جا می‌کند.

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

مثال ۳-۴

در شکل ۳-۴ اگر نیروی که مرد بر جعبه وارد می‌کند ۵۰N و زاویه آن با جابه‌جایی 60° باشد. کار نیروی مرد را در ۳ متر جابه‌جایی حساب کنید.

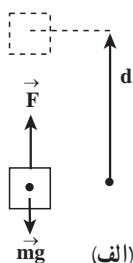
پاسخ: بر طبق رابطه ۲-۴ داریم:

$$W_F = Fd \cos \theta$$

$$W_F = 50 \times 3 \times \cos 60^\circ = 75 \text{ J}$$

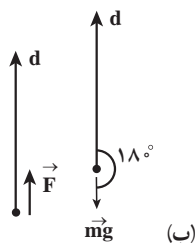
در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هر یک از نیروها را از رابطه

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° است (شکل ب).
 در نتیجه، بر طبق رابطه ۲-۴ داریم:

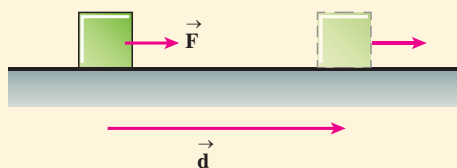
$$W_{mg} = mgd \cos 180^\circ \\ = -mgd$$



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

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

تمرین ۱-۴



در شکل روبه‌رو نیروی ثابت \vec{F} در امتداد افق به جسمی به جرم m وارد می‌شود و آن را در روی سطحی با ضریب اصطکاک جنبشی μ_k جابه‌جا می‌کند. مطلوب است:
 الف) کار نیروی F .
 ب) کار نیروی اصطکاک جنبشی.
 پ) کار نیروی عمودی تکیه‌گاه.
 ت) کار نیروی وزن.

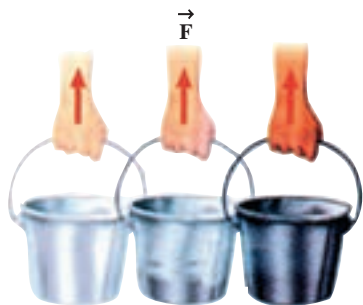
مثال ۴-۵

در طول مدتی که وزنه بردار 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 می‌کند؟ توضیح دهید.
پاسخ: الف) در این حالت وزنه بردار 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) وزنه بردار در این مدت انرژی مصرف می‌کند و انرژی مصرف شده او در نهایت به صورت گرما به محیط بیرون داده می‌شود.

مثال ۴-۴



شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم m را مطابق شکل روبه‌رو حمل و به اندازه d جابه‌جا می‌کند. کار نیروی دست در این جابه‌جایی چقدر است؟

پاسخ: شخص برای اینکه سطل را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی 90° است، در نتیجه:

$$W = Fd \cos \theta = mgd \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

مثال‌های ۴-۵ و ۴-۶ نشان می‌دهند کاری که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم

کاری که در گفت‌وگوهای روزمره خود استفاده می‌کنیم، تفاوت دارد.

۲-۲ رابطه کار و انرژی جنبشی

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

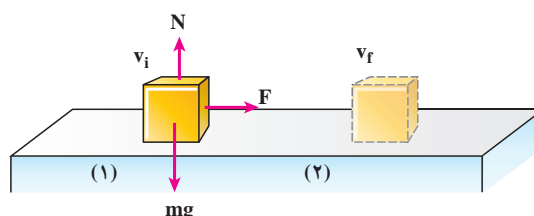
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (۳-۴)$$

داده می‌شود. سرعت تویی که در امتداد قائم به هوا پرتاب شده باشد، رفته رفته کاهش می‌یابد و در نتیجه انرژی جنبشی توپ نیز کم می‌شود. اینک فرض کنید توپ را از حال سکون از یک بلندی رها کنیم، سرعت و در نتیجه انرژی جنبشی توپ به تدریج افزایش می‌یابد. 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 می‌یابد. روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. مثلاً انرژی جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می‌یابد و

شعایت ۱-۴

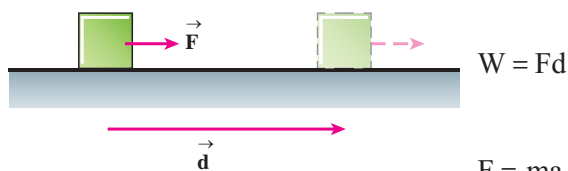
در هریک از مثال‌های بالا الف) نیروهای وارد بر جسم را تعیین کنید. ب) علامت کار هر نیرو را مشخص کنید.

در مثال‌های بالا هریک از نیروهای وارد بر جسم کار انجام می‌دهند و این کارها سبب تغییر انرژی جنبشی جسم می‌شود. برای توضیح این موضوع مثال زیر را در نظر می‌گیریم، 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 جابه‌جا می‌شود. کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جابه‌جایی صفر است.



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

کاروانرژی



کار نیروی F با رابطه زیر داده می‌شود:

چون F مساوی برابری نیروهای وارد بر جسم است، داریم:

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 ۲-۱۴ 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.

در نتیجه 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 بیش از یک نیرو غیر صفر باشد، سمت چپ رابطه ۴-۶، مجموع آن کارها خواهد بود.

رابطه ۴-۶ قضیه کار و انرژی نامیده می‌شود. بر طبق این قضیه، مجموع کارهای نیروهای وارد بر هر جسم در یک جابه‌جایی برابر با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی 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 ۲-۴

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

توضیح دهید.

مثال ۷-۴



چتربازی از ارتفاع ۸۰۰ متری از حال سکون رها می‌شود. جرم چترباز به همراه چترش ۸۰ kg است. اگر او با سرعت ۵ m/s به زمین برسد، به کمک قضیه کار و انرژی کار نیروی مقاومت هوا در مسیر سقوط را به دست آورید. (شتاب گرانش را ۱۰ m/s^2 فرض کنید).
پاسخ: در این مثال، بر چترباز دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم:

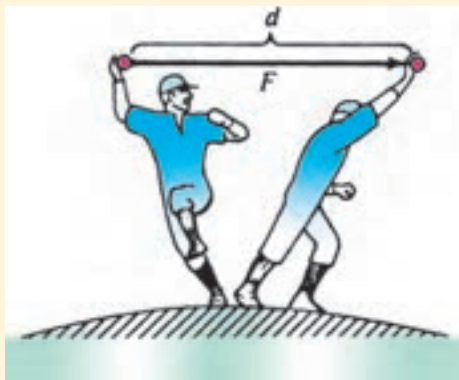
$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{مقاومت هوا}} = K_f - K_i$$

$$mgh \cos 90^\circ + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

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

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

تمرین ۲-۴



ورزشکاری مطابق شکل، بدن و دست خود را طوری حرکت می‌دهد تا توپ را با بیشترین سرعت پرتاب کند، اگر جرم توپ 5 kg باشد و ورزشکار نیروی تقریباً ثابت 200 N را در فاصله $2/5 \text{ m}$ جابه‌جایی توپ بر آن وارد کند، توپ با چه سرعتی پرتاب می‌شود؟

مثال ۸-۴



خودرویی به جرم 1200 kg با سرعت 72 km/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:

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

در نتیجه، 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 $K_f = 0 \text{ J}$ است.

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

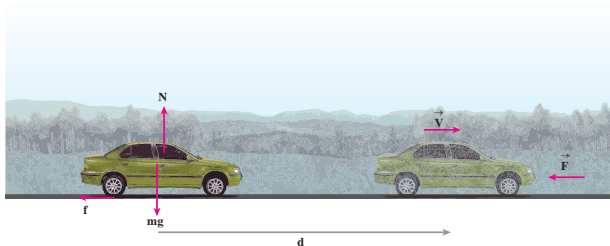
$$W_f + W_N + W_{mg} = K_f - K_i$$

ولی کار نیروی عمودی سطح و نیروی وزن برابر

صفر است. در نتیجه:

$$W_f + 0 + 0 = 0 - 240000$$

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



از قضیه کار و انرژی برای محاسبه کمیت های مختلف نیز می توان استفاده کرد. این موضوع

در مثال های زیر نشان داده شده است.

مثال ۹-۴



کامیونتی به جرم ۳ تن با سرعت ۳۶ km/h در حرکت است. راننده ناگهان ترمز محکمی می کند. به طوری که هر چهار چرخ آن قفل می شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک ها ۰/۸ باشد، کامیونت چند متر روی جاده سُر می خورد تا بایستد؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$ فرض می شود).

پاسخ: بر کامیونت نیروهای اصطکاک جنبشی، عمودی سطح و وزن وارد می شوند. 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 جابه جایی صفر است. سرعت اولیه کامیونت ۱۰ m/s و سرعت نهایی آن صفر است.

$$W_f + 0 + 0 = 0 - \frac{1}{2} \times 3000 \times 10^2 \Rightarrow W_f = -150000 \text{ J}$$

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

$$-150000 = 0.8 \times 3000 \times 10 \times d \times (-1) \Rightarrow d = 625 \text{ m}$$

آزمایش ۱-۴

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 قبلاً چند بار تمرین کنید.)
- ۳- با متر، جابه‌جایی در شیشه را اندازه بگیرید.
- ۴- با استفاده از رابطه $\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ، 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 می‌خواهیم در مورد رابطه میان کار و تغییر انرژی پتانسیل بحث کنیم. در ابتدا مورد خاص انرژی پتانسیل گرانشی را در نظر می‌گیریم.

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

$$W_{\text{وزن}} = mgd \cos 180^\circ = mg(h_f - h_i) \quad (۱-۱)$$

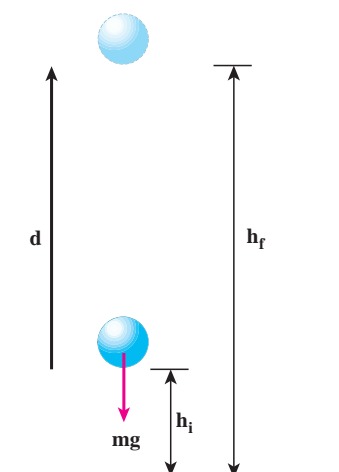
$$= -(mgh_f - mgh_i)$$

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 می‌آید. بنابراین می‌توان نوشت:

$$W_{\text{وزن}} = -(U_f - U_i) = -\Delta U \quad (۴-۷)$$

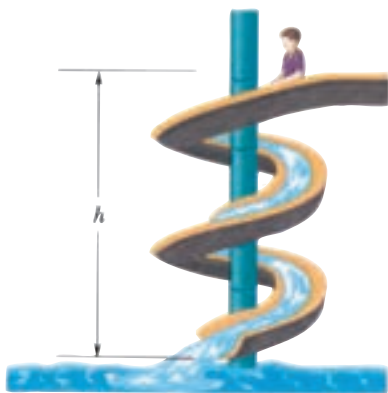
به عبارت دیگر، کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

اگرچه رابطه ۴-۷ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به بالا پرتاب می‌شود به دست آوردیم ولی برای هر جابه‌جایی دلخواهی برقرار است.



شکل ۴-۵

توپ از ارتفاع h_i پرتاب می‌شود و به ارتفاع h_f می‌رسد.



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

کودکی به جرم 25kg از بالای یک سرسره آبی مطابق شکل به سمت پایین سر می خورد. 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 جابه جایی را محاسبه کنید. $g = 10\text{ m/s}^2$

فرض می شود).

الف)

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

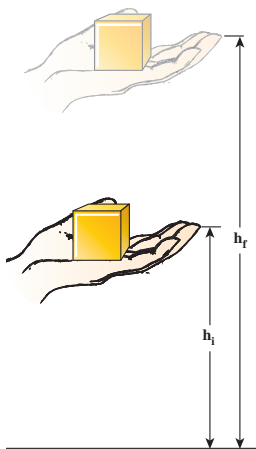
$$U_f = mgh_f = 25 \times 10 \times 0 = 0\text{ J}$$

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

ب)

جسمی به جرم m را مانند شکل با دستمان از ارتفاع h_i به ارتفاع h_f می بریم و دوباره به حالت سکون می رسانیم. با چشم پوشی از مقاومت هوا کار نیروی دست در این جابه 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:

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

با توجه به رابطه ۴-۷ می توانیم 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 دیده ایم

که فنر فشرده یا کشیده دارای انرژی پتانسیل کشسانی است. وقتی جسمی

را به سوی فنری پرتاب می کنیم، پس از برخورد، فنر فشرده می شود و انرژی

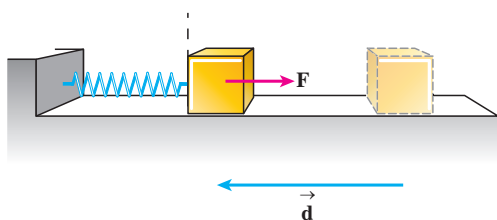
پتانسیل آن افزایش می یابد. در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف

جهت جابه جایی به جسم وارد می کند (شکل ۴-۶) یعنی کار نیروی فنر در این

جابه جایی، منفی و تغییر انرژی پتانسیل کشسانی مثبت است. در مورد تغییر

انرژی پتانسیل کشسانی نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می توانیم بگوییم:

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



شکل ۴-۶ در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف جهت جابه جایی جسم به آن وارد می کند.

مثال ۱۲-۴

در شکل ۴-۶ جسم با انرژی جنبشی 20 J با فنر برخورد و آن را فشرده می‌کند. اگر بدانیم در لحظه توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی 15 J است،

الف) کار نیروی کشسانی فنر در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی، کار نیروی اصطکاک در این جابه‌جایی 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 15 J است.

$$W_{\text{فنر}} = -(15 - 0) = -15\text{ J}$$

ب) بنابر قضیه کار و انرژی:

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

$$-15 + W_{\text{اصطکاک}} + 0 + 0 = 0 - 20 \Rightarrow W_{\text{اصطکاک}} = -5\text{ J}$$

فعالیت ۳-۴

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

۴-۴ 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 چشم‌پوشی 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:

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

$$U_i + K_i = U_f + K_f$$

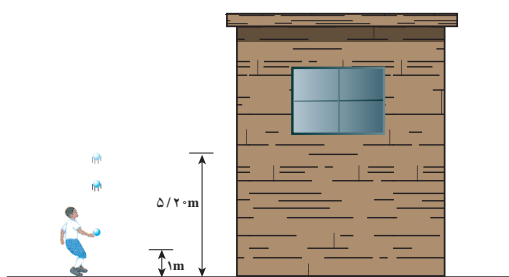
و یا

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 چشم‌پوشی از نیروی مقاومت هوا انرژی مکانیکی جسم ثابت باقی می‌ماند

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



مطابق شکل پسر بچه‌ای 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 هوا سرعت عبور سنگ ریزه از لبه پنجره‌ای را حساب کنید که تا زمین $5/2$ متر فاصله دارد. ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

پاسخ: با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی

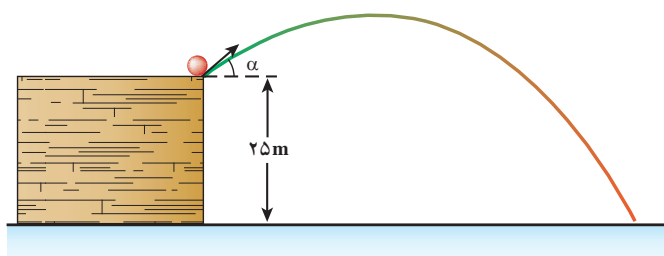
$$E_f = E_i$$

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

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

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

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



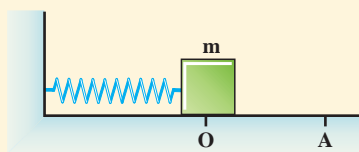
از بالای یک بلندی به ارتفاع ۲۵ متر جسمی را مطابق شکل با سرعت 20 m/s پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم هنگام برخورد با زمین چقدر است؟ $g = 10 \text{ m/s}^2$ و از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید.

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

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

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

$$0 + \frac{1}{2}v_f^2 = 10 \times 25 + \frac{1}{2} \times 20^2 \Rightarrow v_f = 30 \text{ m/s}$$



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 بتوانیم از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم، برای جسمی که در راستای قائم حرکت می‌کند، قضیه کار و انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود:

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

و این در حالی است که رابطه کار و انرژی پتانسیل گرانشی برای جسم هیچ تغییری نمی‌کند.

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

با جایگزینی کار نیروی وزن در رابطه قبلی می‌توان نوشت:

$$W_{\text{مقاومت هوا}} + (-\Delta U) = \Delta K$$

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = \Delta K + \Delta U$$

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

$$=(K_f + U_f) - (K_i + U_i) = E_f - E_i$$

یعنی با وجود مقاومت هوا، دیگر انرژی مکانیکی پایسته نمی‌ماند و تغییر می‌کند. توجه داریم در مواقعی که از مقاومت هوا چشم‌پوشی نمی‌شود با اینکه انرژی مکانیکی پایسته نمی‌ماند و در طول حرکت کم می‌شود، اما قانون پایستگی انرژی همواره برقرار است. یعنی همان قدر که انرژی مکانیکی کاهش می‌یابد، انرژی درونی جسم و هوای پیرامونش زیاد می‌شود و جسم و هوای پیرامونش گرم می‌شود.

مثال ۴-۱۵

از بالگردی که در ارتفاع 50 متری سطح زمین با سرعت 10 m/s در پرواز است، بسته‌ای به جرم 10 kg رها می‌شود و با سرعت 20 m/s به زمین می‌رسد. کار نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظه رهاشدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ($g = 10 \text{ m/s}^2$ است.)



پاسخ:

$$\begin{aligned} W_{\text{مقاومت هوا}} &= E_f - E_i \\ &= (K_f + U_f) - (K_i + U_i) \\ &= \left(\frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f\right) - \left(\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i\right) \end{aligned}$$

بسته در لحظه جداشدن از بالگرد، سرعت 10 m/s دارد.

$$\begin{aligned} W_{\text{مقاومت هوا}} &= \left(\frac{1}{2} \times 10 \times 20^2 + 0\right) - \left(\frac{1}{2} \times 10 \times 10^2 + 10 \times 10 \times 50\right) \\ W_{\text{مقاومت هوا}} &= -3500 \text{ J} \end{aligned}$$

۴-۵ توان

در بخش ۴-۱ 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 سریع‌تر انجام شده است. برای در نظر گرفتن سرعت انجام کار کمیّت مناسبی را به نام توان تعریف می‌کنیم. فرض کنید نیروی F کار W را در مدت Δt انجام داده است. توان متوسط انجام کار به وسیله نیروی F (\bar{P}) از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به دست می‌آید:

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} \quad (۴-۸)$$

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 بخشید. 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 ۴-۱۷

جرم اتاقک بالابری به همراه سرنشینان آن 500 kg است. اگر این بالابر در مدت 10 s از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع 6 m متری برود توان متوسط انجام کار به وسیله موتور بالابر چقدر است؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$ است.)

پاسخ: با استفاده از قضیه کار و انرژی می‌توانیم بنویسیم:

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

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

$$W_{\text{موتور}} = mg(h_f - h_i)$$

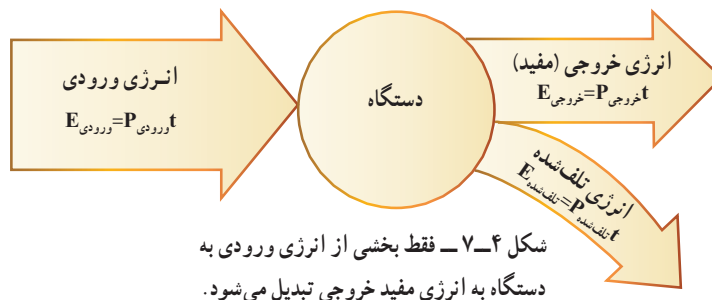
$$W_{\text{موتور}} = 500 \times 10 \times 6 = 30000 \text{ J}$$

با توجه به تعریف توان متوسط داریم:

$$\bar{P} = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t} = \frac{30000}{10} = 3000 \text{ W}$$

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 انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند انرژی گرمایی و صدا درمی‌آید. یا با روشن کردن لامپ می‌خواهیم نور به ما برسد. لامپ رشته‌ای 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 طرح‌واره‌ایست که این نوع تبدیل انرژی‌ها در دستگاه را نشان می‌دهد.

همان طور که طرح‌واره 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.



$$\text{بازده} = \frac{\text{انرژی مفید یا کار انجام شده به وسیله دستگاه}}{\text{انرژی یا کار داده شده به دستگاه}} \quad (۸-۴)$$

روشن است که مقدار این کسر همواره کوچک‌تر از ۱ است. معمولاً بازده را به شکل درصد بیان می‌کنیم.

$$۱۰۰ \times \text{بازده} \% = \text{بازده برحسب درصد}$$

این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به کار یا انرژی خروجی موردنظر تبدیل شده است.

مثال ۴-۱۷

مصرف بنزین خودرویی که با سرعت ۹۰ km/h حرکت می‌کند در هر ۱۰۰ km ، ۶ لیتر است. انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین $۳/۵ \times ۱۰^۷ \text{ J}$ است. ۶۵ درصد انرژی ناشی از سوختن بنزین در این خودرو از طریق آگزوز و دستگاه خنک‌کننده موتور مستقیماً به هوا داده می‌شود و ۱۵ 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، ۷۴۶ وات است. توان مفید این خودرو چند اسب بخار است؟

$$E_{\text{مفید}} = (۶ \text{ lit})(۳/۵ \times ۱۰^۷ \text{ J/lit}) \left(\frac{۲۰}{۱۰۰} \right) = ۴/۲ \times ۱۰^۷ \text{ J}$$

پاسخ:

$$t = \frac{۱۰۰}{۹۰} \text{ h} = \frac{۱۰۰}{۹۰} \times ۳۶۰۰ \text{ s} = ۴۰۰۰ \text{ s}$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{۴ \times ۳/۵ \times ۱۰^۷ \times ۰/۲}{۴ \times ۱۰^۳} = ۱/۰۵ \times ۱۰^۴ \text{ W}$$

$$= \frac{۱/۰۵ \times ۱۰^۴}{۷۴۶} = ۱۴ \text{ hp}$$

تمرین ۴-۳

در ساختمانی برای بالا بردن 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 بالا بردن مصالح تا ارتفاع مورد نظر یکسان و بازده ۶۰% باشد، تعیین کنید که بالابر در چه مدت زمانی می‌تواند باری به جرم ۱۰۰ kg را ۱۰ متر بالا ببرد.



غیاث الدین جمشید کاشانی

غیاث‌الدین کاشانی، در حدود سال ۷۳۰ هجری شمسی در کاشان، به دنیا آمد. از دوران کودکی و نوجوانی غیاث‌الدین، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در بیشتر کتاب‌ها از او به نام جمشیدبن مسعودبن محمودطیب کاشانی یاد کرده‌اند. آن‌طور که از لقب جد پدری‌اش برمی‌آید، طبابت در خانواده ایشان رواج داشته است و آنها مهارت‌های فراوانی در این کار از خود نشان داده‌اند، اما غیاث‌الدین کوچک به پزشکی علاقه نشان نمی‌داد.

غیاث‌الدین در زمان تیموریان زندگی می‌کرد که با یورش‌های

مغول به ایران همراه بود. در آن زمان شرایط فراگیری علم و دانش سخت بود اما پدر غیاث‌الدین باعث شد تا پسرش در مسیر استعداد واقعی‌اش پرورش پیدا کند. او چون به نجوم و حرکات سیارات و ستارگان علاقه فراوانی داشت از همان کودکی، با پشتکار به رصد شبانه می‌پرداخت. غیاث‌الدین 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 هجری شمسی تا ۷۹۵ هجری شمسی در زمینه نجوم تألیف کرد که از آن جمله‌اند:

- کتاب «**سَلَمُ السَّمَاءِ**»، (نردبان آسمان): این کتاب درباره مسائل نجومی، ابعاد سیارات، قطرها و اندازه اجرام آنهاست.

- کتاب «**مختصری در علم هیأت**»: در این کتاب به حل بعضی سؤال‌های مطرح شده در محاسبات نجومی پرداخته شده است و پانزده بخش دارد.

- کتاب «**نزهة 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 غیاث‌الدین 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 اُلغ بیگ، حاکم سمرقند، کاشان را به قصد سمرقند ترک کرد. در سمرقند با دانشمندان زیادی از جمله دانشمندان تاشکندی رقابت داشت و به دلیل نبوغ 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.

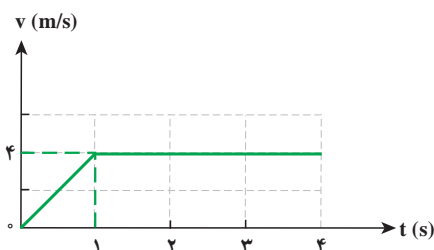
از مهم‌ترین اقدامات او، ساختن ساختمان رصدخانه در سمرقند بود، با ساخت ابزار نجومی‌ای که خودش آنها را طراحی کرده بود، تحقیقات و رصدهای شبانه در این رصدخانه آغاز شد. او قصد تهیه زیج دقیق‌تری را داشت، اما قبل از آنکه به پایان برسد، در سال ۸۰۹ هجری شمسی، هنگام رصد شبانه، از دنیا رفت.

پرسش‌های فصل چهارم

- ۱ دو جسم هم جرم A و B را به بالای برج بلندی می‌بریم. جسم A را با جریقیل به طور مستقیم بالا می‌بریم و جسم B را خیلی آرام از پله‌هایی 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 آرام‌تر به بالا برده 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 چگونه؟ توضیح دهید.
- 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 دهید.
- ۴ وقتی می‌گوییم «توان مفید خروجی دستگاه A از توان مفید خروجی دستگاه B بیشتر است» منظورمان چیست؟

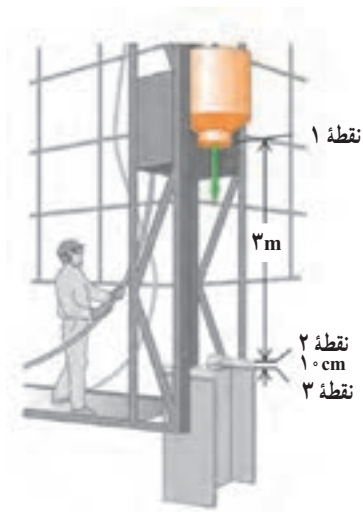
مسائل فصل چهارم

- ۱ شخصی به جرم 50 کیلوگرم داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور 5 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 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 تن در مدت یک دقیقه می‌تواند به سرعت 300 m/s برسد و تا ارتفاع 5000 متری اوج بگیرد.
 الف) کار نیروی وزن در این مدت چقدر است؟
 ب) چه نیروهایی 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 kg در شکل روبه‌رو 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.

کاروانرژی



۵ در یک دستگاه پایه کوبی، مطابق شکل روبه‌رو، پتکی به جرم 200 kg را به ارتفاع 3 m بالای پایه آهنی می‌برند و آن را رها می‌کنند. پایه در اثر برخورد پتک، 10 cm در زمین فرو می‌رود. ریل‌های قائمی که پتک را هدایت می‌کنند، نیروی اصطکاک ثابت 60 N بر آن وارد می‌کنند. با استفاده از قضیه کار و انرژی الف) سرعت پتک در لحظه قبل از برخورد به پایه را بدست آورید.

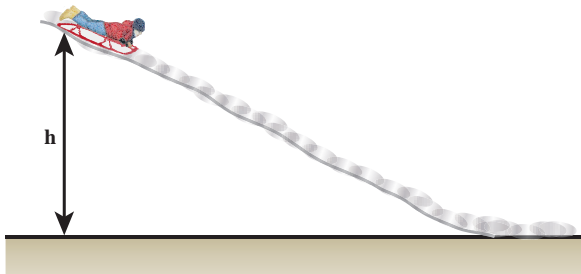
ب) کار نیرویی که پتک به پایه وارد می‌کند، چقدر است؟

۶ گلوله ای به جرم 24 g با سرعت 50 m/s به‌طور افقی وارد تنه درختی می‌شود. اگر گلوله به اندازه 12 cm در تنه درخت فرو رود و متوقف شود، کارنیروی که تنه به آن وارد می‌کند چقدر است؟

۷ خودرویی به جرم یک تن با سرعت 72 km/h در حرکت است. راننده خودرو ناگهان مانعی را در 30 m تری خود می‌بیند و ترمز می‌کند. چهار چرخ خودرو قفل می‌شود و پس از مدتی خودرو متوقف می‌شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین لاستیک خودرو و جاده 0.5 باشد، آیا خودرو به مانع برخورد می‌کند؟

این تمرین را یک بار با استفاده از قضیه کار و انرژی و بار دیگر با استفاده از معادله‌های فصل حرکت شناسی و دینامیک حل کنید.

۸ گلوله ای به جرم 50 g از دهانه تفنگی با سرعت افقی 1 km/s خارج می‌شود و با سرعت 4 km/s به زمین برخورد می‌کند. 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 سورت‌های که جرم آن به همراه سرنشین اش 50 kg است،

از بالای تپه‌ای، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند.

الف) اگر ارتفاع تپه 100 m و اصطکاک قابل چشم‌پوشی باشد،

سرعت سورت‌ها در پایین تپه چقدر خواهد بود؟

ب) فرض کنید مسیر تپه اصطکاک داشته باشد و سرعت سورت‌ها

در پایین مسیر 3 m/s شود. چه مقدار انرژی بر اثر اصطکاک

به انرژی درونی تبدیل می‌شود؟

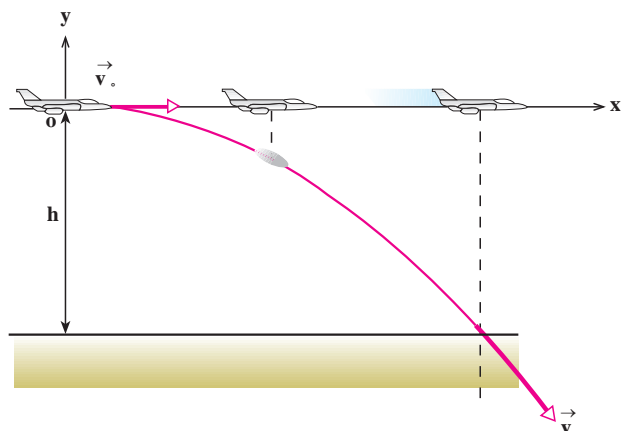
۱۰ یک ورزشکار پرتاب وزنه، با پیش گذاشتن پا سعی می‌کند بیشترین سرعت ممکن را به وزنه بدهد. اگر پرتابگر به‌طور متوسط نیروی 200 N را در جابه‌جایی 1 m روی وزنه‌ای به جرم 7 kg اعمال کند، سرعت وزنه هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟

۱۱ پسر بچه‌ای گلوله برفی به جرم 20 g را از زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع $1/5 \text{ m}$ بالا می‌برد و آن را با سرعت 10 m/s پرتاب می‌کند.

پسریچه چند ژول کار روی گلوله انجام می‌دهد؟



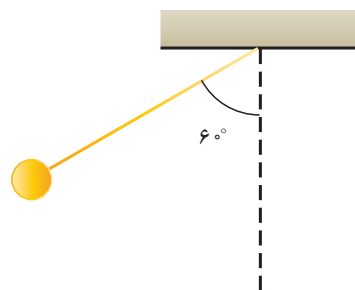
۱۲ در شکل روبه رو یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف نظر کنید.



۱۳ در شکل روبه رو هواپیما که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت ۹۰۰ 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 شخصی 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 m و طول l را مطابق شکل روبه رو به 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 ۲۰۰ MW است. اگر ۸۰ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل

شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی پره های توربین بریزد؟ (جرم هر متر مکعب آب را ۱۰۰۰ kg بگیرد.)

۱۷ یک موتور آب الکتریکی حجمی از آب را با آهنگ $8 \text{ m}^3/\text{s}$ تا ارتفاع $H = 15 \text{ m}$ بالا می برد. اگر بازده موتور ۸۰٪ 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، ۱۰۰۰ 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 ۲۰٪

است. فرض کنید شخصی ۶۰ کیلوگرمی در مدت ۸ s از پلکانی به ارتفاع ۲ m بالا می رود. آهنگ مصرف انرژی شخص در این

فعالیت چقدر است؟

۱۹ آسانسوری با سرعت ثابت، ۱۰ نفر مسافر را در ۳ دقیقه تا ارتفاع ۸۰ m بالا می برد. اگر جرم متوسط هر مسافر ۸۰ kg و جرم

آسانسور ۱۰۰۰ kg باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟

ویژگی های ماده



شُل و سفت شدن قیر به
صنعتگران قلم زن کمک
می‌کند تا بدون سوراخ شدن
فلز بر روی آن نقش و نگارهای
متنوعی ایجاد کنند.

قلم زنی در ایران

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره‌آبی 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 درمی‌آید (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 پرسش‌ها 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 \AA برای مولکول‌های کوچک تا 1000 \AA برای مولکول‌های خیلی بزرگ است. با انجام فعالیت ۱-۵ می‌توانید به تخمینی از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن مایع برسید.

فعالیت ۱-۵

در ظرف آبی کم عمق با سطحی بزرگ (مانند سینی) آب بریزید و روی سطح آب مقداری پودر بچه یا پودر فلفل بپاشید. انتهای یک سوزن ته‌گرد 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 برآوردی از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن است.^۱

مثال ۱-۵

در فعالیت ۱-۵ اگر حجم قطره $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$ و قطر لکه 1 cm باشد،
 الف) ضخامت لکه چقدر است؟
 ب) اگر فاصله متوسط مولکول‌های روغن کنار هم 10 \AA باشد، لکه روغن از چند لایه مولکول روی هم درست شده است؟

۱- این روش برای تخمین ابعاد مولکول روغن را «لردریلی» (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:

$$\text{مساحت لکه} = A = \pi r^2 = 3/14 \times 25 \approx 79 \text{ cm}^2$$

(الف)

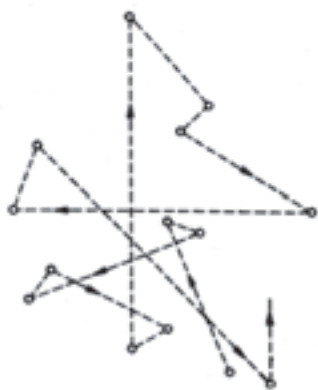
حجم قطره برابر با حجم لکه است و از طرفی حجم لکه از حاصلضرب مساحت لکه (A) در ضخامت آن (h) به دست

می‌آید. بنابراین داریم:

$$\text{حجم قطره} = \text{حجم لکه} = Ah \Rightarrow 5 \times 10^{-5} = 79h \Rightarrow h = 6/3 \times 10^{-7} \text{ cm} = 63 \text{ \AA}$$

(ب) تعداد لایه‌ها برابر است با

$$\text{لایه } 6 \approx (63 \text{ \AA}) \div (10 \text{ \AA})$$



شکل ۵-۲- طرح‌واره‌ای از مسیر یک مولکول عطر در هوا (بزرگ شده به اندازه 10^6 مرتبه)

معمولاً ماده به حالت (فاز) گاز، مایع و جامد یافت می‌شود که به بررسی آنها می‌پردازیم.

الف) گاز: در حالت گاز، مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرفی

که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند. فاصله میانگین مولکول‌های کنار هم در حالت گاز خیلی بیشتر

از این فاصله در حالت مایع و جامد است. مثلاً فاصله میانگین مولکول‌های هوا در شرایط معمولی

در حدود 35 \AA است.

فعالیت ۲-۵

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی خالی را ببندید. در این حالت ظرف پر از هوا است. سعی کنید ظرف را متراکم کنید. همین

کار را وقتی ظرف پر از آب است نیز انجام دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای در مورد تراکم‌پذیری مایع‌ها و گازها می‌گیرید؟

وقتی گلی خوشبو را با خود به اتاق می‌آورید یا در شیشه عطری را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش در همه جای اتاق حس می‌شود. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت وقتی مولکول‌های عطر با یکدیگر یا با مولکول‌های هوا برخورد می‌کنند تغییر مسیر می‌دهند. هر مولکول عطر در فاصله دو برخورد بی‌درپی روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند و هر برخورد مسیر آن را تغییر می‌دهد. در نتیجه مولکول‌های عطر خطی شکسته را می‌پیمایند (شکل ۵-۲) و به این ترتیب به همه جای اتاق می‌روند. این پدیده را **پخش** مولکول‌های عطر در اتاق می‌نامیم. با مشاهده پخش شدن بو در اتاق می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه و در جهت‌های مختلف حرکت و به یکدیگر برخورد می‌کنند.

(ب) جامد: در جامدها فاصله مولکول‌ها از هم بسیار کمتر از این فاصله در گازها و در حدود 10^{-10} 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.

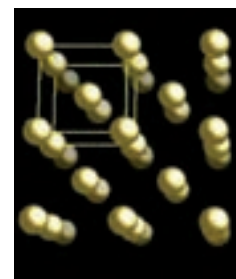
در **جامدهای بی‌شکل** مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها مانند شکل ۳-۵-پ در طرح منظمی کنار هم قرار ندارند. برخی از این جامدها از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. در این شرایط مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم مرتب شوند و به این ترتیب تا حد زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند 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 10^{-10} m است. مولکول‌های مایع نظم اتمی و تقارن بلوری جامدات را ندارند. با این حال به اندازه گازها هم بی‌نظم نیستند.

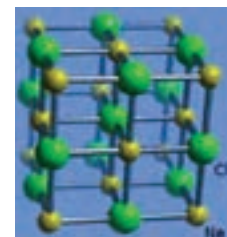
مایع به راحتی جاری می‌شود، به شکل ظرف خودش درمی‌آید و تقریباً تراکم ناپذیر است. پدیده پخش در مایع‌ها نیز مانند گازها رخ می‌دهد ولی با سرعت کمتر. اگر چند قطره جوهر را به آرامی درون لیوان آب بیندازید، شاید مدتی در حدود بیست دقیقه طول بکشد تا به طور کامل در لیوان پخش شود (شکل ۵-۵).

۵-۲ چگالی

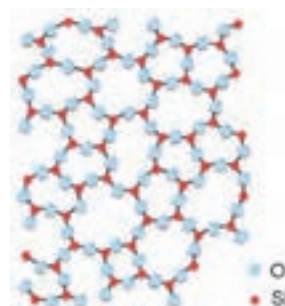
آهن سنگین‌تر است یا چوب؟ این پرسشی مبهم و گنگ است. تا وقتی ندانیم ابعاد جسم آهنی و جسم چوبی چقدر است نمی‌توانیم به این پرسش پاسخ دهیم. قطعاً یک قطعه تخته بزرگ چوبی از یک میخ کوچک آهنی سنگین‌تر است.



الف) آهن



ب) نمک طعام



پ) شیشه

شکل ۳-۵-آرایش مولکولی جامدهای بلورین الف) و ب) و جامدهای بی‌شکل پ)



شکل ۴-۵-الماس کوه نور



شکل ۵-۵-جوهر به کندی در آب پخش می‌شود.

۱- درست‌تر آن است که بگوییم ماده‌ای 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 شل می‌شوند، یعنی ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدهای بلورین) تغییر نمی‌کند. به همین دلیل در مباحث فیزیکی پیشرفته‌تر، جامد بی‌شکل را مایعی سفت نیز می‌نامند.

فعالیت ۳

الف) وزنه‌هایی فلزی، هم جنس 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 می‌آورد 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 به دست آمده از قسمت‌های الف و ب را باهم مقایسه کنید.

همان گونه که با انجام فعالیت ۳-۵ دریافتید نسبت جرم به حجم برای نمونه‌های هم جنس یکسان است. به نسبت جرم به حجم هر جسم چگالی آن جسم می‌گوییم.

$$\text{چگالی جسم} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}}$$

جرم جسم را با m ، حجم جسم را با V و چگالی آن را با ρ نشان می‌دهیم. بنابراین

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۵)$$

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 ، $kg/liter$ و $g/liter$ است^۱.

مثال ۲

چگالی خون $1/050 \text{ g/cm}^3$ است. جرم یک لیتر خون چند کیلوگرم است؟ هر لیتر معادل 1000 cm^3 است.

پاسخ:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow 1/050 = \frac{m}{1000} \Rightarrow m = 1050 \text{ g} = 1/050 \text{ kg}$$

تمرین ۱

نشان دهید $1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/liter}$ و $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/liter}$.

۱- در برخی کتاب‌های فیزیک، لیتر را با نماد L و cm^3 را با نماد cc نشان می‌دهند.

چگالی هر ماده یکی از ویژگی‌های مهم آن به شمار می‌رود که کاربردهای گوناگونی دارد. مثلاً ضدیخ خودرو، محلول گلیکول است که به آن کمی مواد ضد خوردگی اضافه می‌شود. میزان غلظت گلیکول در محلول ضدیخ، که دمای انجماد محلول را تعیین می‌کند، با اندازه‌گیری چگالی این محلول به دست می‌آید. در پزشکی با آزمایش چگالی خون که در حالت عادی بین 1.04 g/cm^3 و 1.06 g/cm^3 است می‌توان به افزایش یا کاهش گلبول‌های سرخ خون پی برد. زیرا افزایش گلبول‌های سرخ خون باعث افزایش چگالی آن می‌شود. با اندازه‌گیری چگالی آلیاژی از طلا و مس می‌توان درصد جرم طلا و مس به کار رفته در آن را تعیین کرد. جدول ۱-۵ چگالی برخی مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۵- چگالی برخی مواد

چگالی (kg/m ³)	مایع‌ها	چگالی (kg/m ³)	گازها*	چگالی (kg/m ³)	جامدها
۲۲۶۵۰	جیوه	۱۳۵۹۰	کلر (Cl _۲)	۲/۹۹۴	ایریدیم
۱۹۳۲۰	گلیسرین	۱۲۶۰	بوتان (C _۴ H _{۱۰})	۲/۴۸۹	طلا
۱۱۳۴۰	خون	۱۰۵۰	گوگرد دی‌اکسید (SO _۲)	۲/۲۷۹	سرب
۱۰۴۹۰	آب دریا	۱۰۳۰	کربن دی‌اکسید (CO _۲)	۱/۸۴۲	نقره
۸۹۳۰	آب (۴°C)	۱۰۰۰	آرگون (Ar)	۱/۶۶	مس
۸۴۰۰-۸۷۰۰	هوای مایع (-۱۹۴°C)	۹۲۰	کربن مونواکسید (CO)	۱/۴۶۵	برنج
۷۸۵۰	روغن زیتون	۸۰۰-۹۲۰	نیتروژن (N _۲)	۱/۱۶۵	آهن
۷۲۸۰	ازت مایع (-۱۹۶°C)	۸۱۰	اکسیژن (O _۲)	۱/۳۳۱	قلع
۷۱۳۰	اتانول (C _۲ H _۵ OH)	۷۹۰	هوا	۱/۲۰۵	روی
۲۷۱۰	بنزین	۶۸۰	متان (CH _۴)	۰/۶۶۸	آلمینیم
۲۳۰۰	هلیوم مایع (-۲۶۹°C)	۱۲۵	هلیوم (He)	۰/۱۶۶	سیمان
۹۲۰			هیدروژن (H _۲)	۰/۰۸۴	یخ
۵۳۰					لیتیم
۲۵۰-۱۰۰۰					چوب

* گازها در دمای ۲۰°C و فشار ۱ atm

فعالیت ۱۴

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، تیل، وزنه‌های فلزی و ... را اندازه بگیرید. برای اندازه‌گیری 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 ۳



جرم مجسمه‌ای برنزی (آلیاژی از مس، قلع، روی و ...) 40 kg و حجم آن 0.05 m^3 است. اگر چگالی برنز 8000 kg/m^3 باشد، حجم فضای خالی درون مجسمه چقدر است؟

پاسخ:

حجم مقدار برنز استفاده شده برابر است با

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{40}{8000} = 0.005 \text{ m}^3$$

در نتیجه، حجم فضای خالی چنین می‌شود:

$$\text{حجم فضای خالی} = \text{حجم مجسمه} - \text{حجم برنز} = 0.05 - 0.005 = 0.045 \text{ m}^3$$

فعالیت ۵

الف) با استفاده از جدول ۱-۵ تعیین کنید چگالی هوا در حالت مایع چند برابر چگالی هوا در فشار 1 atm و دمای 20°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 هلیوم نیز انجام دهید.

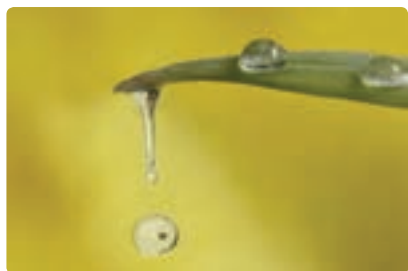
فعالیت ۴

الف) اگر برای اندازه‌گیری 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.

۵-۳ نیروهای بین مولکولی

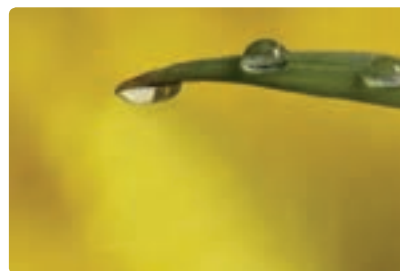
در فعالیت ۵-۲ دیدیم که تراکم کردن بطری پلاستیکی پر از آب و در بسته امکان پذیر نیست. به کمک نیروهای بین مولکولی می توان این پدیده را توجیه کرد. وقتی سعی می کنیم فاصله بین مولکول های مایع را کم کنیم نیروی دافعه شدیدی بین آنها ظاهر می شود که از تراکم پذیری مایع جلوگیری می کند. وقتی باران می بارد لایه ای از آب روی شاخه و برگ درختان می نشیند و با بزرگ شدن این لایه، قطره شدن آب مانند شکل ۵-۶ الف آغاز می شود. با افزایش مقدار آب و با سنگین تر شدن قطره آب شکل آن به صورت ۵-۶ ب در می آید و در آستانه سقوط قرار می گیرد. مولکول های آب روی سطح قطره از بقیه مولکول های آب روی شاخه کمی دور می شوند. در این حالت نیروی بین مولکولی به صورت **هم چسبی** می شود و در برابر نیروی وزن مقاومت می کند. این نیروی جاذبه بین مولکولی را **نیروی هم چسبی** می نامیم. با بزرگ تر شدن جرم قطره بالاخره نیروی وزن از نیروی هم چسبی مولکول ها بیشتر می شود و قطره به شکل کره سقوط می کند (شکل ۵-۶ پ).



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۵-۶ با سنگین تر شدن لایه آب، نیروی وزن بر نیروی هم چسبی غلبه می کند و آب شروع به چکیدن می کند.

از این دو مثال نتیجه می گیریم که مولکول های آب در شرایط عادی در وضعیت تعادل قرار دارند و وقتی آنها را کمی به هم نزدیک یا کمی از هم دور کنیم نیروهای دافعه یا جاذبه بین مولکول ها ظاهر می شود. این نیرو در جهتی است که مولکول ها را به وضعیت اولیه خود بازگرداند. نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، یعنی وقتی فاصله بین مولکول ها 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 می توان به روش مشابهی با نیروهای بین مولکولی توجیه کرد.

فعالیت ۵-۷

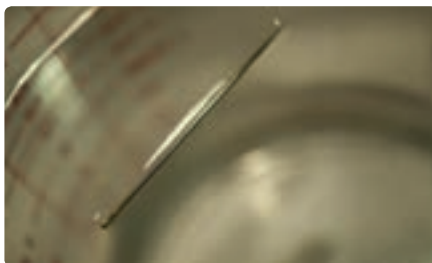
وقتی شیشه می شکند با نزدیک کردن قطعه های آن به هم نمی توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه های شیشه را آنقدر گرم کنیم که نرم شوند می توان آنها را به هم چسباند. این پدیده ها را با توجه به کوتاه برد بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

با توجه به نیروهای بین مولکولی 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 ۵-۷-الف). سوزنی که به دقت بر سطح آب قرار داده شود، روی آب شناور می‌ماند (شکل ۵-۷-ب). قطره‌های کوچک آب و حباب‌های صابون کروی شکل هستند (شکل ۵-۷-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 بین مولکولی توضیح داد. در سطح مایع به دلیل تغییر از وضعیت مایع به بخار، فاصله مولکول‌ها از یکدیگر به طور متوسط بیشتر از فاصله مولکول‌های درون مایع است. بنابراین همان‌طور که پیشتر دیدیم با افزایش فاصله بین مولکول‌ها نیروهای بین مولکولی 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 ۵-۷- (الف) ایستادن حشره‌ها روی آب، (ب) قرار گرفتن سوزن روی آب و (پ) تشکیل حباب‌های صابون جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

فعالیت ۵-۸



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 به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.
پ) اکنون یک قطره صابون مایع را به آرامی به آب درون ظرف بیافزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن بیابید.

ترشوندگی: دیدیم که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها ظاهر می‌شود که به آن نیروی **دگرچسبی** یا **چسبندگی** می‌گوییم. هم‌چسبی و دگرچسبی هر دو نیروهایی بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که جاذبه، بین مولکول‌های 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 ۵-۸-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 ۵-۸-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 ۵-۸- شکل‌های پخش شدن آب روی شیشه تمیز و قطره‌ای شدن جیوه روی شیشه

فعالیت ۵-۹



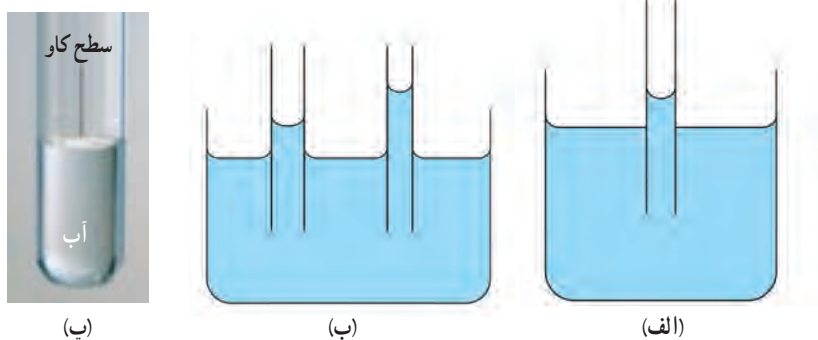
بخش آب روی سطح شیشه چرب

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.

موینگی: اگر چند لوله موئین شیشه‌ای و تمیز با قطرهای متفاوت را درون یک ظرف آب قرار دهیم مشاهده می‌کنیم که:

۱- آب در لوله‌های موئین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۹-الف)

۲- هرچه قطر لوله موئین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. (شکل ۵-۹-ب)



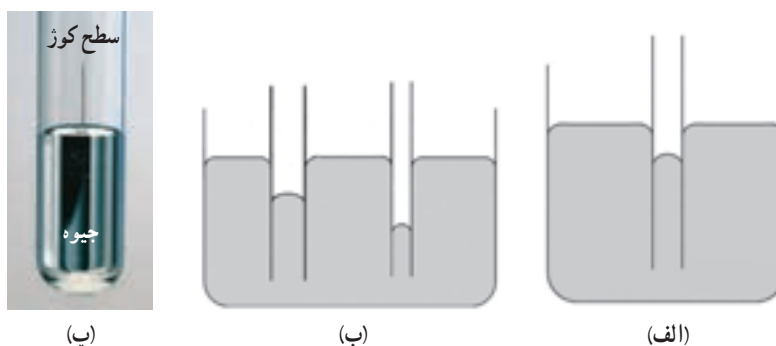
(ب)

(ب)

(الف)

شکل ۵-۹- شکل آب در لوله‌های موئین

- ۳- سطح آب در بالای لوله موئین فرورفته است. (شکل‌های ۵-۹)
- اکنون همین آزمایش‌ها را با جیوه انجام می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که:
- ۱- جیوه در لوله‌های موئین مقداری بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه ظرف قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۱۰-الف)
- ۲- هرچه قطر لوله موئین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است. (شکل ۵-۱۰-ب)
- ۳- سطح جیوه در لوله موئین برآمده است (شکل‌های ۵-۱۰-۳)



شکل ۵-۱۰- شکل جیوه در لوله‌های موئین

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 ۵-۹ 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 ۵-۱۰ سطح جیوه در لوله موئین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

فعالیت ۱۰-۵

آزمایشی طراحی کنید که در آن سطح آب در لوله موئین دارای برآمدگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف پایین‌تر باشد.

فعالیت ۱۱-۵

مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب موئینگی آب را به درون خود می‌کشند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را قیراندود می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود. تحقیق کنید در گذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

بالا رفتن 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 موینگی 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 بر اثر موینگی 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 - هم چسبی** 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 هم چسبی متقابل مولکول‌های شاره است، بر اثر این فشار منفی به بالا کشیده می‌شود. اما بر این مدل هم ایرادهایی وارد است و از جمله برخی پژوهشگران بر این باورند که هم چسبی مولکول‌های شاره به حدی نیست که بتواند این فشار بالا را تاب بیاورد و این زنجیره در جایی گسسته خواهد شد. برخی دیگر از پژوهشگران این احتمال را مطرح کرده‌اند که آب یا شیره گیاهی در چند مرحله به بالا کشیده می‌شود. 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 پرده گوش 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 طرف یا سطح جسم غوطه‌ور در شاره، نیرویی عمودی وارد می‌کند. با اینکه شاره در کل ساکن است می‌دانیم که مولکول‌های آن در حرکت‌اند. در واقع نیرویی 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 تعریف می‌شود:

$$\bar{P} = \frac{F}{A} \quad (۲-۵)$$

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

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



یک زیر دریایی در عمق 900 متری اقیانوس ساکن است. این زیر دریایی پنجره‌ای به شکل دایره و به قطر 5 m دارد. اگر فشار متوسط آب در محل پنجره 9×10^6 Pa باشد نیرویی که آب بر سطح خارجی این پنجره وارد می‌کند چقدر است؟

پاسخ: مساحت پنجره برابر است با

$$A = \pi r^2 = 3/14 \times 0/25^2 = 0/2 \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$F = A \bar{P} = 0/2 \times 9 \times 10^6 = 1/8 \times 10^6 \text{ N}$$

۵-۵ محاسبه فشار در مایع‌ها

پیش از آنکه به محاسبه فشار در مایع‌ها بپردازیم، خوب است تجربه‌های زیر را در نظر بگیریم. در تجربه نخست، روی بدنه یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی دو سوراخ هم ارتفاع و هم اندازه ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۱-۵ الف). در حالی که سوراخ‌ها را بسته‌ایم، ظرف را پر از آب می‌کنیم. اکنون یکی از سوراخ‌ها را باز می‌کنیم و سرعت خروج آب از آن را اندازه می‌گیریم. بار دیگر ظرف را پر از آب می‌کنیم و این اندازه‌گیری را برای سوراخ دیگر انجام می‌دهیم. از این تجربه درمی‌یابیم سرعت خروج آب از سوراخ‌های هم ارتفاع یکسان است.



(الف) استوانه‌ای با دو سوراخ هم‌تراز

در تجربه‌ای دیگر، روی بدنه همان ظرف سه سوراخ هم اندازه در ارتفاع‌های متفاوت ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۱-۵ ب). سوراخ‌ها 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 درمی‌یابیم که سرعت خروج آب از سوراخ‌های پایین‌تر بیشتر است.



(ب) استوانه‌ای با سه سوراخ غیر هم‌تراز

از این تجربه‌ها درمی‌یابیم 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 به دست آوریم. به این منظور، شکل ۱۲-۵ را ببینید. در شکل، بخشی از مایع ساکن را که بین دو سطح هاشور خورده قرار دارد را در نظر بگیرید. بر ایند 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 سطح‌های ۱ و ۲، A مساحت این دو سطح، و m جرم مایعی است که بین دو سطح مورد نظر قرار دارد. بدیهی است که حجم این مایع برابر است با

$$V = Ah$$

با توجه به رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ که در آن چگالی مایع است، داریم

$$m = \rho V = \rho Ah$$

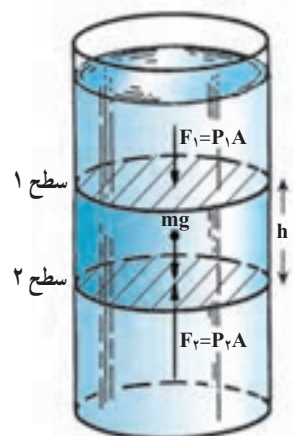
بنابراین می توان نوشت :

$$P_2 A = P_1 A + (\rho Ah)g$$

و از آنجا

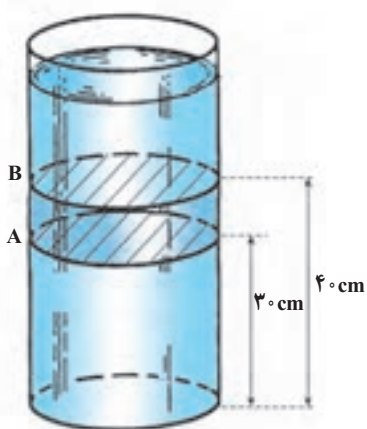
$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

(۳-۵)



شکل ۳-۵-۱ نیروی فشار وارد بر قاعده بالایی و نیروی فشار وارد بر قاعده پایینی با نیروی گرانی وارد بر حجم محصور موازنه می شود.

مثال ۵-۵



الف) در یک ظرف استوانه‌ای بلند، مطابق شکل مقداری آب می ریزیم. اختلاف فشار بین دو سطحی که با A و B مشخص شده اند را به دست آورید.
ب) اگر در ظرف به جای آب، روغن مایعی با چگالی $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ بریزیم اختلاف فشار این دو سطح چقدر می شود؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۳-۵ و با مراجعه به جدول ۱-۵ اختلاف فشار دو سطح را محاسبه می کنیم:

$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow \Delta P = \rho gh = 1000 \times 10 \times 0.3 = 3000 \text{ Pa}$$

ب) اختلاف فشار بین دو سطح برابر است با

$$\Delta P = \rho gh = 900 \times 10 \times 0.3 = 2700 \text{ Pa}$$

فشار هوا: اگر در رابطه ۳-۵ سطح ۱ را سطح آزاد مایع در نظر بگیریم فشار در آن سطح

برابر با فشار هوا است که معمولاً آن را با P_0 نمایش می دهیم. اگر فشار در عمق h را به جای P_1 با P

نمایش می توانیم رابطه ۳-۵ را به صورت زیر بنویسیم:

$$P = P_0 + \rho gh$$

(۴-۵)

فشاری که هوا بر سطح آزاد مایع وارد می کند، ناشی از برخورد مولکول های هوا با سطح آزاد مایع است. همان طور که خواهیم دید مقدار متوسط این فشار در سطح دریای آزاد، حدود $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ است و به آن ۱ اتمسفر (1 atm) نیز می گویند. با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار و چگالی هوا کاهش می یابد. برای درک بهتر فشار هوا فعالیت زیر را انجام دهید.

فعالیت ۱۲-۵

داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آب جوش بریزید و در آن را محکم ببندید. سپس آب سرد روی آن بریزید. مشاهده خود را به کلاس گزارش کنید و علت را در کلاس به بحث بگذارید.

مثال ۶-۵

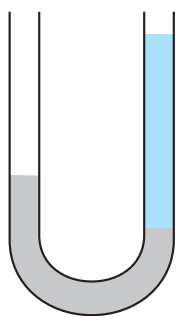
در عمق ۱۰ متری یک دریاچه فشار چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را 1 atm بگیرید.

پاسخ:

با توجه به رابطه ۵-۴ و مراجعه به جدول ۵-۱ فشار در عمق h را محاسبه می کنیم.

$$P = P_0 + \rho gh = 1 \times 10^5 + 1000 \times 9.8 \times 10 = 1.99 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.97 \text{ atm}$$

مثال ۷-۵



در یک لوله U شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخه سمت راست آنقدر آب می ریزیم تا ارتفاع آب به $54/4 \text{ cm}$ برسد (شکل روبه رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی متر است؟

پاسخ: نقاط A و B هر دو در جیوه هستند، هم ترازند و شاره نیز ساکن است. بنابراین

$$P_A = P_B$$

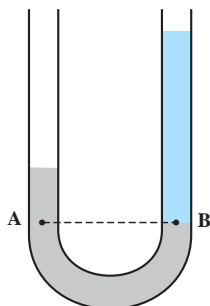
در نتیجه

$$P_0 + \rho_{\text{جیوه}} gh_{\text{جیوه}} = P_0 + \rho_{\text{آب}} gh_{\text{آب}}$$

$$\rho_{\text{جیوه}} h_{\text{جیوه}} = \rho_{\text{آب}} h_{\text{آب}}$$

$$13/6 \times h_{\text{جیوه}} = 1 \times 54/4$$

$$h_{\text{جیوه}} = 4 \text{ cm}$$



که در آن از چگالی های جیوه و آب که در جدول ۵-۱ داده شده است استفاده کردیم.

رابطه ۵-۳ را می توان برای گازها نیز به کار برد. مثلاً می توان 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 محفظه های کوچک گاز که ارتفاع آنها کم است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه می توان فشار را در این موارد در تمام نقاط گاز یکسان گرفت.

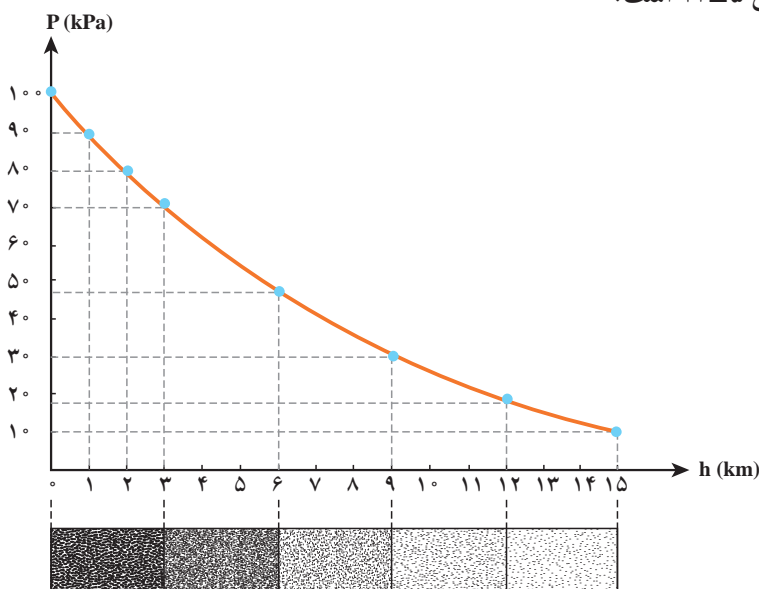


چگالی هوای تهران در دمای 20°C تقریباً $1/0\text{ kg/m}^3$ است. اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع 45m ، چقدر است؟

پاسخ:

$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = \rho gh = 1/0 \times 9/8 \times 45 = 440\text{ Pa}$$

توجه کنید برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، نمی‌توان از رابطه ۳-۵ استفاده کرد. زیرا با افزایش زیاد ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا به شدت کاهش می‌یابد. محاسبه دقیق نشان می‌دهد تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین مطابق نمودار شکل ۱۳-۵ است.



شکل ۱۳-۵ نمودار فشار هوا برحسب ارتفاع از سطح دریای آزاد. نوار زیر محور افقی تغییر چگالی هوا برحسب ارتفاع را نشان می‌دهد. لایه‌های با هوای فشرده‌تر که چگالی بیشتری دارند تیره‌تر نشان داده شده‌اند.

آزمایش توریچلی: آزمایش زیر را توریچلی^۱ (۱۶۴۷-۱۶۰۸م) فیزیکدان ایتالیایی در سال ۱۶۴۳ میلادی پیشنهاد کرد. در این آزمایش لوله آزمایشی شیشه‌ای به طول حدود ۱m 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^۲. 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 ۷۶۰mm 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 ۵-۱۴). اگر آزمایش در محلی بالاتر از سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد بود. اکنون می توانیم فشار هوا در محل انجام آزمایش را تعیین کنیم. قبلاً دیدیم فشار در نقاط هم تراز شاره ساکن، یکسان است. بنابراین

$$P_A = P_B = P_C$$

از طرفی می دانیم، فشار نقطه های B و C همان فشار جو است :

$$P_B = P_C = P_0 = \text{فشار هوا}$$

و فشار در نقطه A برابر است با

$$P_A = \rho gh + \text{فشار فضای بالای لوله}$$

فشار فضای بالای لوله، که اصطلاحاً به آن خلأ توریحلی گفته می شود، تقریباً صفر است (در این

فضا، بخار جیوه با فشاری بسیار کم وجود دارد که قابل چشم پوشی است). بنابراین می توانیم بنویسیم :

$$P_A = \rho gh$$

و یا

$$P_0 = \rho gh$$

یعنی فشار هوا در محل انجام آزمایش برابر است با ρgh که در آن h ارتفاع ستون جیوه درون لوله آزمایش توریحلی است. بنابراین می توان از آزمایش توریحلی برای اندازه گیری فشار جو استفاده کرد. براساس این آزمایش دستگاه های اندازه گیری فشار جو طراحی و ساخته شده اند که به آنها **جوسنج** یا **بارومتر** گفته می شود.

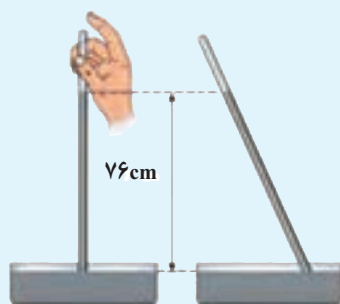
با استفاده از جدول ۵-۱ فشار هوا در سطح دریای آزاد چنین می شود :

$$P_0 = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times \frac{760}{1000} \approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

همان طور که قبلاً دیدیم به این مقدار فشار، ۱ atm می گویند. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای

آزاد برابر با $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ یا ۱ atm است. متداول است که به جای محاسبه ρgh فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً بر حسب میلی متر) بیان می کنند. بنابراین فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی متر جیوه (mmHg) است. به ۱ mmHg، به افتخار توریحلی ۱ torr نیز گفته می شود.

فعالیت ۵-۱۳



الف) اگر در آزمایش توریحلی لوله را از وضعیت قائم اندکی کج کنید، سطح جیوه در لوله بالا می رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی کند. علت را توضیح دهید.
ب) برای لوله غیرمومین، اگر سطح مقطع لوله تغییر کند، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی کند. علت را توضیح دهید.

پ) چرا توریحلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟

فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای): در زندگی روزمره آنچه اغلب

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 ۱۲۰ (یعنی ۱۲۰ mmHg) بیان می‌شود (شکل ۵-۱۵) در واقع به این معنی است که فشار خون بیمار ۱۲۰ mmHg بیشتر از فشار هوا است یا وقتی می‌گویند فشار هوای درون لاستیک یک خودرو ۲/۲ atm است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک، ۲/۲ atm از فشار هوای بیرون بیشتر است. به این اختلاف فشار، **فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)** می‌گوییم و آن را با **فشارسنج** یا **مانومتر** اندازه می‌گیریم:

$$P_g = P - P_0$$

که در آن، P فشار شاره و P_0 فشار هوای محیط است.

یکی از انواع متداول فشارسنج‌ها، فشارسنج U شکل است (شکل ۵-۱۶). لوله فشارسنج U شکل، حاوی مایعی مانند جیوه، آب یا مایع دیگری با چگالی مشخص ρ 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 هوا 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_0) استفاده کرد.

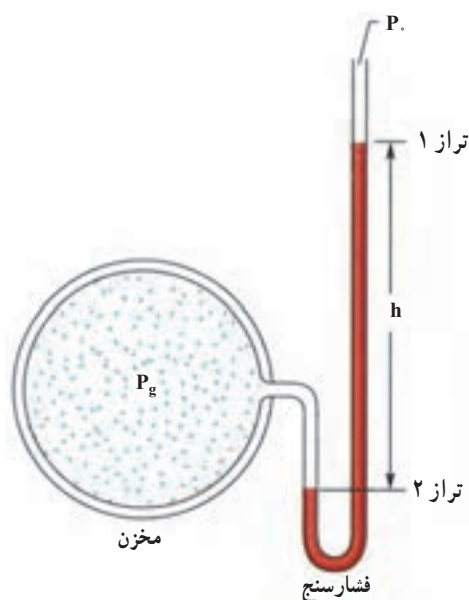
$$P - P_0 = \rho gh$$

$$P_g = \rho gh \quad (5-5)$$

با دانستن چگالی مایع (ρ)، شتاب جاذبه (g) و اندازه‌گیری ارتفاع h ، P_g که همان فشار پیمانه‌ای گاز درون محفظه است، تعیین می‌شود. توجه کنید که هر چند در اغلب موارد P_g کمیتی مثبت است ولی می‌توان حالت‌هایی را یافت که برای آنها P_g مقداری منفی است. در واقع فشار پیمانه‌ای بسته به اینکه $P > P_0$ یا $P < P_0$ باشد، می‌تواند مثبت یا منفی باشد.



شکل ۵-۱۵ - دستگاه فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار خون



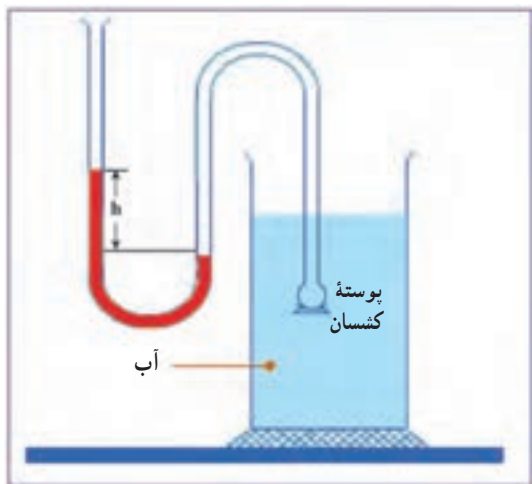
شکل ۵-۱۶ - برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای گاز در مخزن، لوله U شکل حاوی مایع قرمز که به جو راه دارد به مخزن متصل شده است.

فعالیت ۱۴-۵

با استفاده از یک شیلینگ پلاستیکی شفاف و نرم، خط کش و مقداری آب رنگی فشارسنج U شکلی بسازید. پیستون سرنگ ۵ cc را تا نیمه بیرون بکشید و سر آن را به لوله فشارسنج وصل کنید. با جابه‌جا کردن پیستون، هر بار فشار پیمانه‌ای هوای درون سرنگ را اندازه بگیرید. در مورد مثبت یا منفی بودن فشار پیمانه‌ای هوای درون سرنگ بحث کنید.

آزمایش ۱۰-۱

وسایل لازم:



قیف، پوسته کشسان، سطل پر از 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، پوسته ای کشسان مانند بادکنک را وصل کنید.

۴- با وارد کردن قیف در سطل آب موارد زیر را تحقیق کنید.

الف) چگونه بستگی فشار به عمق

ب) یکسان بودن فشار در نقاط هم عمق

پ) عدم بستگی فشار در هر نقطه از مایع به جهت گیری پوسته در آن نقطه.

از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که فشار وارد بر پوسته به جهت گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به مکانی وابسته 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 ۵-۱۶ مایع درون لوله جیوه و اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه ۱۲ cm است.

الف) فشار پیمانه ای 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)

$$P_g = P - P_0 = \rho gh$$

همان طور که پیشتر گفتیم معمولاً به جای محاسبه ρgh ، فشار برحسب ارتفاع ستون جیوه بیان می شود. بنابراین

$$P_g = 12 \text{ cmHg} = 12 \text{ mmHg}$$

ب)

$$P_g = P - P_0 \Rightarrow 12 \text{ mmHg} = P - 75 \text{ mmHg} \Rightarrow P = 87 \text{ mmHg}$$

فعالیت ۱۰-۵

در مورد انواع دیگر فشارسنج ها تحقیق کنید و چگونگی کارکرد آنها را به کلاس گزارش دهید.

اصل پاسکال: معمولاً برای استفاده از خمیردندان، لولهٔ پر خمیردندان را فشار می‌دهیم تا خمیر از دهانهٔ لوله خارج شود (شکل ۵-۱۷). 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.



شکل ۵-۱۷ وقتی لولهٔ خمیردندان را فشار می‌دهید، اصل پاسکال را مشاهده می‌کنید.

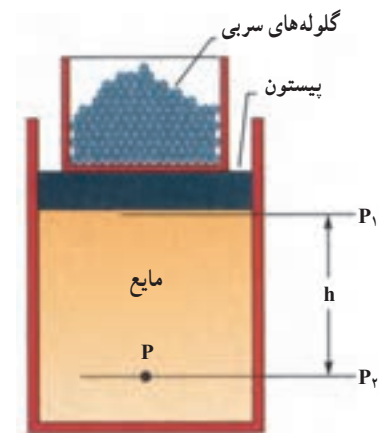
مطابق شکل ۵-۱۸ ظرفی استوانه‌ای و پر از مایع به چگالی ρ را در نظر بگیرید که با پیستونی مسدود شده است. روی پیستون گلوله‌هایی سربی قرار می‌دهیم. فشار ناشی از جو، وزن پیستون و وزن گلوله‌ها را در نقطهٔ (۱) با P_1 نشان می‌دهیم. می‌دانیم که فشار در عمق دلخواه h از این ظرف به اندازهٔ ρgh بیشتر از نقطهٔ (۱) است:

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

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 ρgh ، P_2 نیز به اندازهٔ P_1 تغییر خواهد کرد. یعنی تغییر فشار این دو نقطه یکسان است و به ارتفاع h بستگی ندارد.

بلیز پاسکال^۱، دانشمند فرانسوی، این موضوع را برای اولین بار بررسی کرد و نتیجهٔ تحقیقات خود را در سال ۱۶۵۲ میلادی به چاپ رساند. این نتیجه امروزه به عنوان **اصل پاسکال** معروف است و چنین بیان می‌شود:

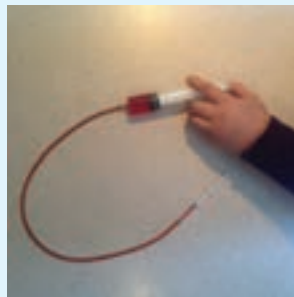
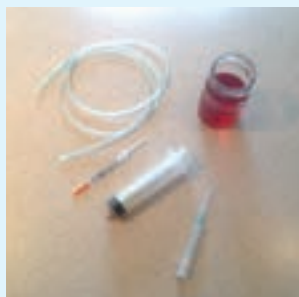
هر تغییری در فشار وارد بر هر شارهٔ تراکم ناپذیر و محبوس، بدون هیچ کم و زیاد به تمام بخش‌های شاره و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.



شکل ۵-۱۸ با تغییر فشار خارجی P_1 ، با توجه به تراکم ناپذیری مایع، فشار در همهٔ نقاط داخل مایع نیز به همان اندازه تغییر می‌کند.

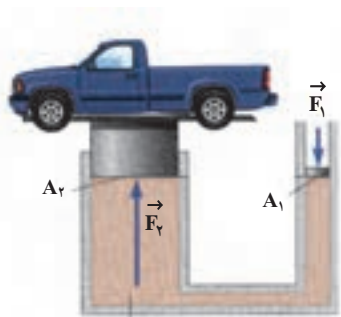
فعالیت ۱۴-۵

یک سرنگ کوچک (مثل سرنگ انسولین)، لولهٔ لاستیکی سرم یا آکواریوم به طول حدود ۵ cm، یک سرنگ بزرگ‌تر ۵ cc (و یا با حجم بیشتر) و مقداری آب رنگی آماده کنید. در سرنگ بزرگ تا حدود ۲ cc آب بکشید و سرنگ انسولین را پر از آب کنید. لولهٔ لاستیکی پر از آب را از یک سر به 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.



^۱ - Blaise Pascal

ویژگی های ماده



شکل ۵-۱۹- طرح ساده شده ای از یک بالابر هیدرولیکی



بلیز پاسکال

ریاضیدان، فیزیکدان، مخترع و فیلسوف فرانسوی در ۱۹ ژوئن ۱۶۲۳ م. (۱۰۰۲ ه.ش) در فرانسه به دنیا آمد. او کودکی نابغه بود که تمام تحصیلات خود را زیر نظر پدرش به انجام رسانید و در هیچ دانشگاهی 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 شبانه روزی اختراع کرد. این ماشین ها به حسابگرهای پاسکال مشهور شد. پاسکال یکی از مهم ترین ریاضی دانان 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 تعمیر کار توربچلی نقشی مهم در تبیین مفاهیم علم شماره ها از جمله در تبیین مفاهیم فشار شماره و خلأ داشت. او در پایان عمر، مطالعات خود را بر روی فلسفه متمرکز کرد و در حالی که فقط ۳۹ سال داشت در ۱۹ آگوست ۱۶۶۲ م. (۱۰۴۱ ه.ش) در پاریس درگذشت.

بالا بر هیدرولیکی: بالابره های هیدرولیکی بر اساس اصل پاسکال طراحی می شوند. از این

دستگاه برای بالا بردن اجسام سنگین مانند خودرو (برای تعویض چرخ ها یا تعمیر آنها) استفاده می شود. طرح ساده ای از این بالابر در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است.

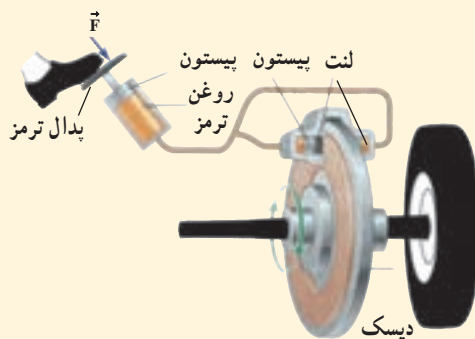
به طور معمول و بدون آنکه وسیله ای روی بالابر قرار گیرد، فشار در محل پیستون های کوچک و بزرگ به ترتیب P_1 و P_2 است. با قرار گرفتن هر چیز سنگینی مانند خودرو روی پیستون بزرگ، فشار این پیستون به اندازه $\frac{F_2}{A_2}$ افزایش می یابد (F_2 در این حالت برابر با وزن خودرو است). اگر ما به در تعادل باشد، طبق 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 پیستون ها با هم برابر باشد، در نتیجه:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (۵-۶)$$

از این دستگاه علاوه بر بالا بردن اجسام، برای پرس یا خرد کردن نیز استفاده می شود.

تمرین ۵-۲

شکل زیر طرح واره ساده ای از دستگاه ترمز خودرویی را نشان می دهد. با استفاده از اصل پاسکال توضیح دهید که این دستگاه چگونه کار می کند.

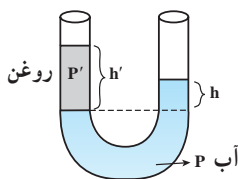


پرسش های فصل پنجم

- ۱ در هنگام پاک کردن تخته سیاه ذرات گچ به طور نامنظم به اطراف حرکت می کنند. حرکت نامنظم آنها را چگونه می توان توجیه کرد؟
- ۲ قطعه ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۳ چرا موهای خیس به هم فشرده می شوند؟
- ۴ وزن 1 m^3 شن تقریباً سه برابر وزن 1 m^3 آب است. چرا بادهای نسبتاً ضعیف توده های شن را در صحرا به حرکت درمی آورند، حال آنکه بر اثر یک توفان حتی شدید فقط یک مقدار مختصر آب دریا به سمت بالا پاشیده می شود؟
- ۵ رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است، اما می توان نشان داد که تا ارتفاع 2000 متری از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر 10 m ، یک میلی متر جیوه کاهش می یابد. با این اطلاعات فشار هوا را در محل زندگی خود برآورد کنید.
- ۶ چرا تنفس یک شناگر با لوله ای بلند که تا سطح آب ادامه دارد می تواند به شدت خطر آفرین باشد؟

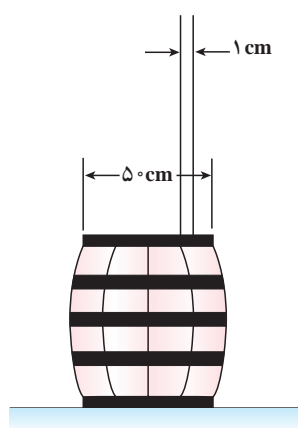
مسائل فصل پنجم

- ۱ تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است؟ اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می کند؟ (از جدول ۱-۵ استفاده کنید.)
- ۲ در چه عمقی از دریا فشار 10° برابر فشار جو در سطح دریا است؟ (چگالی آب دریا را 1150 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 10^3 kg/m^3 است.
- ۴ برای نوشیدن آب به چگالی 1000 kg/m^3 با استفاده از نی، تا ارتفاع بیشینه 10 cm ، اختلاف فشار هوای درون دهان با فشار هوای بیرون که باید ایجاد کنیم چقدر است؟
- ۵ طول و عرض و ارتفاع یک اتاق $3/5 \text{ m}$ ، $4/2 \text{ m}$ و $2/4 \text{ m}$ است. الف) وزن هوای درون اتاق در فشار 1 atm و دمای 0°C چقدر است؟ ب) نیروی وارد از هوای داخل اتاق بر کف آن چقدر است؟
- ۶ در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب، مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته ایم. الف) نشان دهید:

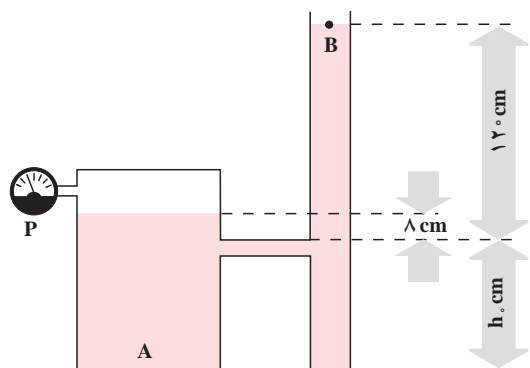


$$\frac{h'}{h} = \frac{\rho}{\rho'}$$

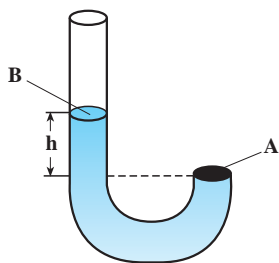
- که در آن ρ' چگالی روغن و ρ چگالی آب و h' ارتفاع ستون روغن است.
- ب) چگونه می توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.



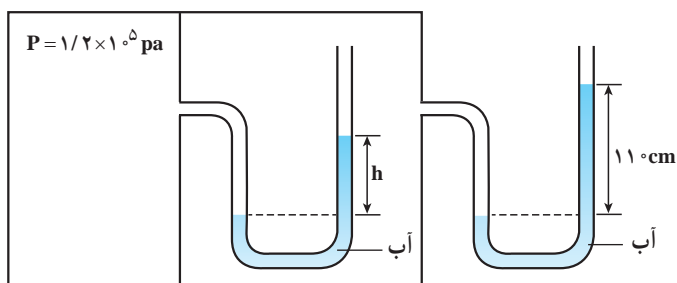
۷ آزمایش شکل روبه‌رو را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به بشکه‌ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به $15/3$ متر رسید درپوش بشکه رها شد. اگر قطر درپوش 5 cm باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله 1 cm است.



۸ اگر در مخزن شکل روبه‌رو آب بریزیم، وقتی سطح مایع از h بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A، 8 cm بالاتر از h و در B، 12 cm بالاتر از h باشد: الف) فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (توجه کنید که فشارسنج، فشار بیمانه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند). ب) فشار کل گاز محبوس چقدر است؟



۹ در شکل روبه‌رو مایعی به چگالی ρ 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؟



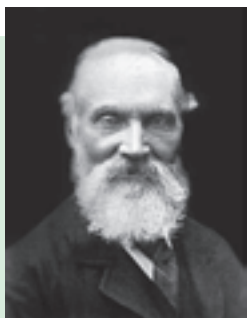
۱۰ در شکل روبه‌رو مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوا را $1 \times 10^5\text{ Pa}$ و چگالی آب را 1 g/cm^3 بگیرید.



گرما و قانون گازها

کویر لوت با دمای بیشینه‌ای در
مدود 70°C در روزهای آفتابی
یکی از گرم‌ترین نقاط جهان است.





ویلیام تامسون کلون

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 اختراعات 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، عمده شهرت کلون به خاطر تعیین دقیق صفر مطلق برابر با $273/15^{\circ}\text{C}$ است و این در حالی است که پیش از او سدی کارنوی فرانسوی در سال ۱۸۲۴، یعنی همان سالی که کلون زاده شد، مقدار 267 را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلون، به اسم او نامگذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لرد کلون ملقب شد و اولین دانشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لردها راه یافت. کلون در ۱۷ دسامبر ۱۹۰۷ م. (۱۲۸۶ ه.ش) در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

چرا پارچه خیزی که روی بندی پهن شده است، ساعتی بعد خشک می شود؟ چگونه بادهای ساحلی به وجود می آیند؟ چگونه شیشه های دوجداره مانع از اتلاف گرما می شوند؟ چگونه با اسپری کردن باغ های میوه می توان از یخ زدن آنها در شب های سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل ها به صورت بخش هایی مجزا ساخته می شوند که فاصله کمی بین آنها وجود دارد؟ پالتوها چگونه ما را از سرما محافظت می کنند؟ چگونه موهای خرس های قطبی می تواند آنها را از سرمای کشنده قطب در امان نگه دارد؟ چگونه قندیل های یخی گسترش می یابند؟

پاسخ این پرسش ها و بسیاری از پرسش های مشابه را می توان با بررسی گرما و اثرهای آن به دست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم های فیزیکی دما و گرما آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم ها به بررسی روش گرماسنجی و اندازه گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای ذوب و تبخیر می پردازیم. علاوه بر این، اثر تغییر دما بر طول یا حجم جامدها، مایع ها و گازها را بررسی می کنیم و راه های انتقال گرما را مورد بحث قرار می دهیم و سرانجام قانون گازها را به طور مختصر بررسی می کنیم.

۶-۱ دما، انرژی درونی و گرما

دما از دیدگاه میکروسکوپی به انرژی جنبشی مولکول های ماده بستگی دارد ولی این ارتباط بسیار پیچیده است و از این رو شاید شروع خوبی برای تعریف دما نباشد. در این کتاب، دما را از دیدگاه ماکروسکوپی بررسی می کنیم. از این دیدگاه، دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می کند. به این منظور لازم است یک مقیاس دمایی به وجود آوریم و برای این کار می توان از هر مشخصه قابل اندازه گیری ای بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می کند که به آن **کمیت دماسنجی** می گوئیم.

شعاعیت ۱-۴

در فصل ۱ گفتیم برای آنکه تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید یکای آن و نیز روش و ابزار اندازه گیری آن مشخص شود. دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی در مورد ابزار و روش اندازه گیری آن توضیح دهید و یکای آن را مشخص کنید. (برای این کار می توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.)

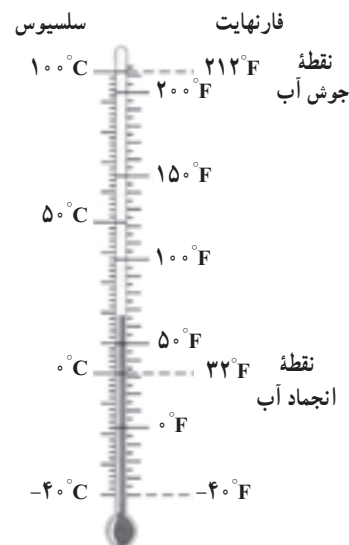
مقیاس های دما: یکای متداول دما درجه سلسیوس است که با نماد $^{\circ}\text{C}$ نمایش داده می شود. دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با θ نشان می دهند.

تصویر ۴

در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلونین را به کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلونین را معمولاً با T نشان می‌دهند. رابطه میان دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلونین به صورت زیر است:

$$T = \theta + 273 \quad (۱-۶)$$

بنا به رابطه ۱-۶، صفر کلونین برابر 273°C است^۱. یکای رایج دیگر دما، فارنهایت است که امروزه در صنعت کاربرد فراوانی دارد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ - مقایسهٔ یکاهای سلسیوس و فارنهایت

$$\theta = \frac{9}{5}T - 32$$

تمرین ۱-۴

دمای ذوب یخ، 0°C ، دمای جوش آب، 100°C و دمای بدن انسان سالم، 37°C است. هر یک از این دماها برابر چند کلونین و چند درجهٔ فارنهایت است؟

مثال ۱-۴

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلونین 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:

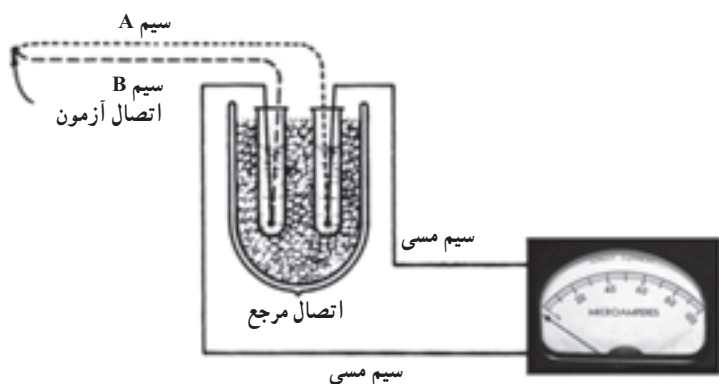
$$\Delta T = \Delta \theta$$

دماسنجی: همان‌طور که پیش‌تر گفتیم برای دماسنجی از هر خاصیت قابل اندازه‌گیری استفاده می‌کنیم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. مثلاً در دماسنج‌های جیوه‌ای یا الکی که در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت، کمیت دماسنجی ارتفاع مایع درون لولهٔ دماسنج است. دماسنج ترموکوپل (شکل ۲-۶) نمونهٔ دیگری از دماسنج‌هاست که کمیت دماسنجی در آن جریان الکتریکی است.

مطابق شکل ۲-۶ دو سیم فلزی غیرهمجنس A و B از طرفی در دمای ذوب یخ نگه داشته شده‌اند و از طرف دیگر در مکانی به هم متصل‌اند که می‌خواهیم دمای مجهول آن را به دست آوریم. این مجموعه شامل دو اتصال با سیم‌های مسی رابط است که به یک آمپرسنج یا گالوانومتر بسته می‌شود. با افزایش دمای مورد اندازه‌گیری، شدت جریان در مدار بیشتر می‌شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای

۱- صفر کلونین به‌طور دقیق برابر $273/15^{\circ}\text{C}$ است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی 273°C مناسب است.

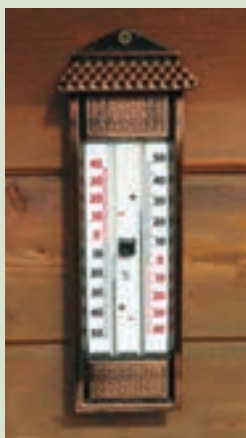
گرما و قانون گازها



شکل ۲-۶- طرحی از یک دماسنج ترموکوپل

متفاوت تکرار کنیم می توانیم شدت جریان مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گستره دماسنجی یک ترموکوپل می تواند از صفر تا حدود 1600°C باشد. مزیت ترموکوپل در این است که به خاطر جرم کوچک، خیلی سریع با دستگاهی که دمای آن اندازه گیری می شود به حال تعادل گرمایی می رسد.

دماسنج بیشینه - کمینه: این دماسنج نوع ویژه ای از دماسنج های مایعی است که بیشینه و کمینه دما را در یک مدت زمان معین نشان می دهد. از این دماسنج معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می کنند. شکل زیر طرح واره ای از این نوع دماسنج را نشان می دهد. هنگامی که دما بالا می رود، به سبب انبساط الکل (در لوله سمت چپ شکل)، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می برد.



شکل ۳-۶- طرح واره ای از یک دماسنج 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 نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می ایستد. هنگامی که الکل به علت کاهش دما منقبض می شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می راند. 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 نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می ایستد. با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان مدت زمان مورد نظر به سطح جیوه برگردانده می شوند. در طراحی جدید این نوع دماسنج ها به علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به عنوان جایگزین استفاده می شود.

گرما و تعادل گرمایی: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی ای است که به دلیل اختلاف دما، بین دو جسم مبادله می شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی ای که جسم با دمای بالاتر از دست می دهد، برابر انرژی ای است که جسم با دمای پایین تر می گیرد. این مبادله گرما تا زمانی ادامه می یابد که دمای دو جسم یکسان شود، و از آن پس دیگر گرمایی بین دو جسم مبادله نمی شود. در این حالت می گوئیم دو جسم با هم در **تعادل گرمایی** اند و دمای مشترک آنها را **دمای تعادل** می نامیم. 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 می کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می یابد 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 جسم های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. گرمای ویژه هر جسم را که با نماد c نمایش داده می شود به صورت زیر تعریف کردیم:

گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلونین) افزایش یابد.

به این ترتیب گرمای Q برای ایجاد تغییر دمای ΔT یا $\Delta\theta$ برای m کیلوگرم از یک جسم برابر است با

$$Q = mc\Delta\theta = mc(\theta_2 - \theta_1) = mc(T_2 - T_1) \quad (۲-۶)$$

در این رابطه ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، $\Delta\theta$ (تغییر دما) بر حسب درجه سلسیوس و ΔT بر حسب کلونین است. یکای c با استفاده از رابطه ۲-۶، $J/kg \cdot ^\circ C$ یا $J/kg \cdot K$ است. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول ۱-۶ داده شده است.

جدول ۱-۶ – گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم کلونین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
سرب	۱۳۰	بتون	۸۰۰
جیوه	۱۴۰	گرانیت	۸۰۰
نقره	۲۴۰	سنگ مرمر	۸۸۰
برنج	۳۸۰	آلومینیم	۹۰۰
مس	۳۹۰	یخ ($^\circ C$)	۲۱۰۰
فولاد ^۱	۴۵۰	اتانول	۲۴۳۰
استیل ضد زنگ	۴۹۰	آب دریا	۳۹۰۰
شیشه	۵۰۰-۸۵۰	آب	۴۲۰۰

۱- آلیاژ آهن با ۲٪ کربن

اگر دمای جسم در اثر مبادله گرما بالا رود $\theta_1 > \theta_2$ و $\theta_1 - \theta_2 = \Delta\theta$ و رابطه ۲-۶ مقدار مثبتی برای Q به دست می دهد ($Q > 0$) در حالی که اگر دمای جسم با مبادله گرما کاهش یابد، $\theta_2 < \theta_1$ و $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$ ، و مقداری که برای Q به دست می آید منفی خواهد بود ($Q < 0$). پس می توان گفت که علامت Q در رابطه ۲-۶ مشخص می کند که جسم گرما گرفته است ($Q > 0$) یا گرما داده است ($Q < 0$). از این پس در این کتاب همواره گرما برای جسمی که گرما را می گیرد مثبت و برای جسمی که گرما را از دست می دهد منفی در نظر گرفته می شود.

مثال ۲-۷

یک قطعه ۱۰۰ گرمی از مس را که دمای آن 90°C است در یک ظرف آب سرد می اندازیم، دمای تعادل به 24°C می رسد. گرمای Q را برای مس حساب کنید.

پاسخ: $m = 100\text{g} = 0.1\text{kg}$ ، $\theta_1 = 90^\circ\text{C}$ ، $\theta_2 = 24^\circ\text{C}$ و گرمای ویژه مس با استفاده از جدول ۱-۶ برابر با $c = 390\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ است.

از رابطه ۲-۶ برای مس، به دست می آوریم:

$$Q = mc\Delta\theta = 0.1 \times 390 \times (24 - 90) \\ = 39 \times (-66) = -2574\text{J} \approx -2.6\text{kJ}$$

علامت منفی که در محاسبه Q به دست آمده، نشان می دهد که مس گرما از دست داده است.

مثال ۳-۷

فرستنده ها و گیرنده های الکترونیکی درون ماهواره ها نیز مانند فرستنده ها و گیرنده های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می کنند. فرض کنید انرژی ای که چنین دستگاهی از سلول های خورشیدی متصل به ماهواره در هر ثانیه دریافت می کند 10J و انرژی ای که فرستنده امواج به سمت زمین گسیل می کنند 3J باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون با گرمای ویژه $700\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ و جرم آن 0.5 کیلوگرم است. در مدت 100 ثانیه:

الف) دستگاه چقدر انرژی دریافت و چقدر انرژی گسیل کرده است؟

ب) با توجه به پایداری انرژی، افزایش انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

پ) افزایش انرژی درونی، معادل گرمایی است که سبب افزایش دمای دستگاه می شود. افزایش دمای دستگاه چقدر است؟

پاسخ:

الف) اگر انرژی را با E و توان را با P نشان دهیم، $E = Pt$ است و در نتیجه،

$$E_{\text{دریافت}} = P_{\text{دریافت}} t = 10 \times 100 = 1000\text{J}$$

$$E_{\text{گسیل}} = P_{\text{گسیل}} t = 3 \times 100 = 300\text{J}$$

ب) اگر تغییر انرژی درونی دستگاه را با ΔU نمایش دهیم، با استفاده از قانون پایداری انرژی داریم:

$$\Delta U = E_{\text{دریافت}} - E_{\text{گسیل}} = 1000 - 300 = 700\text{J}$$

(پ)

$$\Delta U = Q = mc\Delta\theta$$

$$700 = 0.5 \times 700 \times \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 2^\circ\text{C}$$

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.

دمای تعادل: اگر دو یا چند جسم با دماهای 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 گرما از دست می‌دهند؛ برای این اجسام $Q < 0$ است. بقیه اجسام گرما می‌گیرند؛ برای این اجسام $Q > 0$ است. بنا به قانون پایستگی انرژی همان قدر 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 ۴-۷

یک قطعه 14°C گرمی آلومینیم را که دمای آن 8°C است در ظرف عایقی که حاوی 25°g آب در دمای 22°C است می‌اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

پاسخ: در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما داده‌اند، برای سادگی مشخصه‌های آنها را با زیرنویس‌های ۱ و ۲ نشان

می‌دهیم، یعنی:

$$m_1 = 14^\circ\text{g} = 0.014\text{kg} = \text{جرم آلومینیم}$$

$$\theta_1 = 8^\circ\text{C} = \text{دمای اولیه آلومینیم}$$

و از جدول ۱-۶

$$c_1 = 900\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C} = \text{گرمای ویژه آلومینیم}$$

و همین‌طور برای آب داریم:

$$m_2 = 25^\circ\text{g} = 0.025\text{kg} = \text{جرم آب}$$

$$\theta_2 = 22^\circ\text{C} = \text{دمای اولیه آب}$$

و از جدول ۱-۶

$$c_2 = 4200\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C} = \text{گرمای ویژه آب}$$

دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیم است را با θ نمایش می‌دهیم. آنگاه بنا به رابطه ۳-۶ داریم:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) = 0$$

$$0.014 \times 900 \times (\theta - 8) + 0.025 \times 4200 \times (\theta - 22) = 0$$

در نتیجه:

$$\theta = 28^\circ\text{C}$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژه c_1, c_2, c_3, \dots به جرم‌های m_1, m_2, m_3, \dots و $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه ۳-۶ معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل را از آن محاسبه کرد:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (4-6)$$

از معادله ۴-۶ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم.

مثال ۴-۵

در ظرف عایقی حاوی 500 g آب 20°C ، یک قطعه مس 100 g گرمی به دمای 50°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم 150 g و به دمای 60°C و گرمای ویژه نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 22°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:

$$\text{آب: } m_1 = 500 \text{ g} = 0.5 \text{ kg}, \theta_1 = 20^\circ \text{C}, c_1 = 4200 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$\text{مس: } m_2 = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg}, \theta_2 = 50^\circ \text{C}, c_2 = 390 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$\text{فلز: } m_3 = 150 \text{ g} = 0.15 \text{ kg}, \theta_3 = 60^\circ \text{C}, c_3 = ?$$

$$\text{دمای تعادل: } \theta = 22^\circ \text{C}$$

با استفاده از رابطه ۴-۶ داریم:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0$$

$$0.5 \times 4200 \times (22 - 20) + 0.1 \times 390 \times (22 - 50) + 0.15 \times c_3 \times (22 - 60) = 0$$

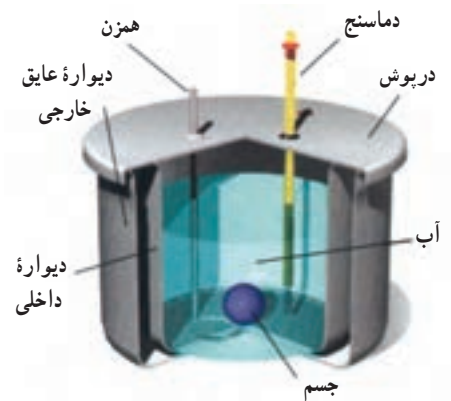
در نتیجه

$$c_3 \approx 545 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

تمرین ۴-۲

جسمی به جرم 250 g و دمای 3°C را درون ظرف عایقی حاوی 500 g آب 25°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 21°C می‌شود، گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

گرماسنج و گرماسنجی: گرماسنج که به آن کالری متر نیز می‌گویند و در شکل ۴-۶ نشان داده شده است، ظرفی فلزی و درپوش دار است که به خوبی عایق بندی گرمایی شده است. این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معلوم می‌ریزیم و پس از همدم 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 گرفته ایم، درون گرماسنج قرار می‌دهیم و به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع‌تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. با استفاده از رابطه‌های ۳-۶ و ۴-۶ و با چشم پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادله گرما داریم:



شکل ۴-۶- طرحی از نمای داخلی و اجزای یک گرماسنج

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{ظرف}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta - \theta_{\text{جسم}}) + m_{\text{ظرف}} c_{\text{ظرف}} (\theta - \theta_{\text{ظرف}}) = 0$$

به کمک این رابطه می‌توانیم گرمای ویژه جسم را به دست آوریم. 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 $J/^\circ C$ 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.

مثال 4-4

قطعه‌ای فلزی به جرم $55^\circ g$ و دمای $75^\circ C$ که گرمای ویژه‌اش نامعلوم است را درون گرماسنجی حاوی $50^\circ g$ آب $15/5^\circ C$ می‌اندازیم. ظرف گرماسنج آلومینیومی و جرم آن $10^\circ g$ است. دمای تعادل مجموعه $18/8^\circ C$ می‌شود. الف) گرمای ویژه قطعه فلز چقدر است؟ با مراجعه به جدول ۱-۶ تعیین کنید این قطعه فلز از چه جنسی می‌تواند باشد؟ ب) با چشم پوشی از مبادله گرما با ظرف گرماسنج، گرمای ویژه قطعه فلز را دوباره بیابید.

پاسخ:

الف)

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{ظرف}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta - \theta_{\text{جسم}}) + m_{\text{ظرف}} c_{\text{ظرف}} (\theta - \theta_{\text{ظرف}}) = 0$$

$$0/50 \times 4200 \times (18/8 - 15/5) + 0/55 \times c_{\text{جسم}} (18/8 - 75) + 0/10 \times 900 \times (18/8 - 15/5) = 0$$

$$6930 - 30/91 c_{\text{جسم}} + 297 = 0 \Rightarrow c_{\text{جسم}} = 224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

با مراجعه به جدول ۱-۶ درمی‌یابیم که این فلز می‌تواند نقره باشد.

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} = 0$$

ب) با چشم پوشی از مبادله گرما با ظرف گرماسنج داریم:

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta - \theta_{\text{جسم}}) = 0$$

$$0/50 \times 4200 \times (18/8 - 15/5) + 0/55 \times c_{\text{جسم}} (18/8 - 75) = 0$$

$$6930 - 30/91 c_{\text{جسم}} = 0 \Rightarrow c_{\text{جسم}} = 224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

با مقایسه پاسخ‌های الف و ب معلوم می‌شود که اثر ظرف گرماسنج در مبادله گرما ناچیز است.

آزمایش ۱-۴

وسيله‌های آزمایش: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، بشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه پایه و شعله پخش کن، انبر.

شرح آزمایش:

- ۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب، یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روشن بگذارید.
- ۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز هست.
- ۵- جسم داغ‌شده 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 ۴-۶ به دست آمده است،

$$m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta - \theta_{\text{جسم}}) + C_{\text{گرماسنج}} (\theta - \theta_{\text{گرماسنج}}) + m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) = 0$$

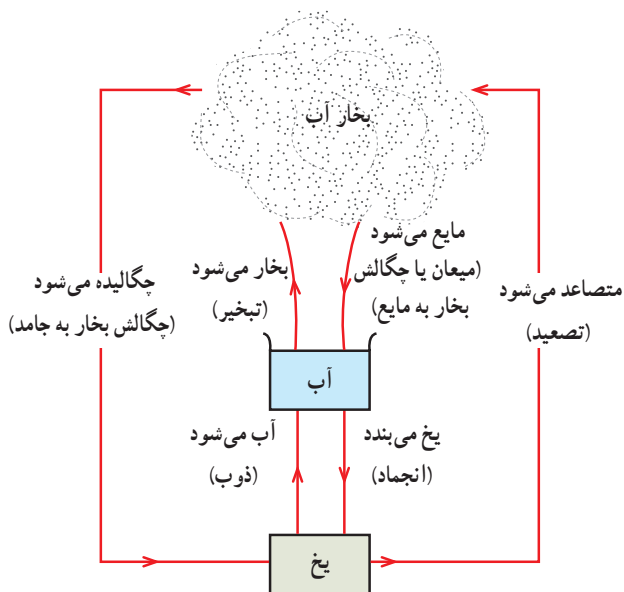
گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.

۲-۶ حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۵ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. برای مثال H_2O هم به حالت جامد (یخ) و هم به حالت مایع (آب) و هم به حالت گاز (بخار آب) یافت می‌شود. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت 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** می‌نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، **تصعید** و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد **چگالش بخار به جامد** گفته می‌شود. برای مثال نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود و یا در صبح‌های بسیار سرد



شکل ۶-۵- انواع تغییر حالت‌های آب

زمستان برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می نشیند، بخار آبی است که به طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است.

در ادامه تغییر حالت های جامد به مایع و مایع به بخار یا گاز را به طور جداگانه بررسی می کنیم.

ذوب: پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرمادادن را برای جامدهای خالص و بلورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می شود و دما ثابت باقی می ماند. در این حالت جسم شروع به ذوب شدن می کند و به مایع تبدیل می شود. این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد **دمای ذوب** یا **نقطه ذوب** و به عبارتی **دمای گذار جامد به مایع** می نامند. معمولاً حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می یابد، زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول ها در حالت جامد اشغال می کند نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است.

برخلاف جامدهای خالص و بلورین، جامدهای بی شکل مانند شیشه و قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع، وقتی این مواد را گرم می کنیم پیش از ذوب شدن خمیری شکل می شوند. این مواد در گستره ای از دما به تدریج ذوب می شوند^۱.

معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطه ذوب جسم می شود. در برخی اجسام مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می انجامد. نقطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجه سلسیوس است.

فعالیت ۲-۴

درباره علت دیرتر آب شدن برف روی قله کوه ها 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 گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود. این گرما دمای جسم را تغییر نمی دهد بلکه سبب تغییر حالت آن می شود. گرمای لازم برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع، در دمای ذوب، با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را **گرمای ذوب** (یا گرمای نهان ذوب) می نامیم و آن را با L_F نشان می دهیم^۲:

$$L_F = \frac{Q}{m}$$

۱- درست تر آن است که بگوییم موادی مانند شیشه یا قیر که ساختار بلورین ندارند و در فیزیک به آنها آمورف گفته می شود، هنگام ذوب یا انجماد، تغییر حالت (فاز) نمی دهند. قیر یا شیشه هنگام ذوب یا انجماد فقط شل یا سفت می شوند و ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدهای بلورین) تغییر نمی کند. به همین دلیل برخی کتاب ها، شیشه را مایع بیفت نیز می گویند.

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 به دست می آید^۱.

$$Q = mL_F \quad (۵-۶)$$

گرمای ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادیر برای برخی از مواد در جدول ۲-۶ داده شده است.

جدول ۲-۶ نقطه ذوب و گرمای ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه ذوب (°C)	گرمای ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
ازت	-۲۱۰	۲۵/۵
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۳/۷
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

مثال ۷-۷



فلز گالیم (Ga) عنصر سی و یکم جدول تناوبی عناصر است. دمای ذوب این فلز $۲۹/۸^{\circ}\text{C}$ و گرمای ذوب آن $۸۰/۴\text{kJ/kg}$ است. همان طور که در شکل دیده می شود هرگاه این فلز را در دست بگیریم شروع به ذوب شدن می کند. حساب کنید که یک قطعه ۱°g گرمی از این فلز چقدر گرما از دست ما می گیرد تا در نقطه ذوب خود به طور کامل ذوب شود.

پاسخ:

$$Q = mL_F = (1 \times 10^{-3}) (80/4 \times 10^3) = 80/4\text{J}$$

۱- پیش از این در کتاب های درسی گرمای لازم برای ذوب هر جسم جامد، یعنی Q ، را گرمای نهان ذوب و L_F را گرمای نهان ویژه ذوب می نامیدند که این نام گذاری امروزه چندان مرسوم نیست.

انجماد: وقتی از مایع خالصی گرما می‌گیریم، سرد می‌شود تا به نقطه انجماد خود برسد. اگر گرما گرفتن از مایع را در این دما ادامه دهیم مایع شروع به جامد شدن 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 گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند.

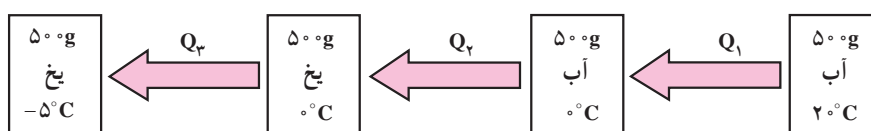
هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. همان‌طور که قبلاً دیدیم وقتی جسم گرما از دست می‌دهد $Q < 0$ است، پس برای محاسبه گرما به هنگام انجماد مایعی به جرم m داریم،

$$Q = -mL_F \quad (6-6)$$

در اینجا نیز مانند فرایند ذوب که برای جامدهای غیر بلورین نقطه انجماد مشخصی وجود ندارد، وجود ناخالصی موجب می‌شود که مایع، نقطه انجماد مشخصی نداشته باشد بلکه انجماد در گستره‌ای از دماها رخ دهد. مثلاً هنگام یخ‌زدن آب نمک، اولین بلورها در دمای کمتر از 0°C تشکیل می‌شود و انجماد کامل در دماهای کمتر، تا 18°C - روی می‌دهد.

مثال ۸-۷

از 500g آب با دمای 20°C چند کیلوژول گرما بگیریم تا به یخ با دمای 5°C - تبدیل شود؟
پاسخ: مرحله‌های این فرایند به‌طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن:

$$Q_1 = mc\Delta\theta = 500 \times 4200 \times (0 - 20) = -420000\text{J} = -420\text{kJ}$$

$$Q_2 = -mL_F = -500 \times 334000 = -167000\text{J} = -167\text{kJ}$$

$$Q_3 = mc\Delta\theta = 500 \times 2100 \times (-5 - 0) = -52500\text{J} = -52.5\text{kJ}$$

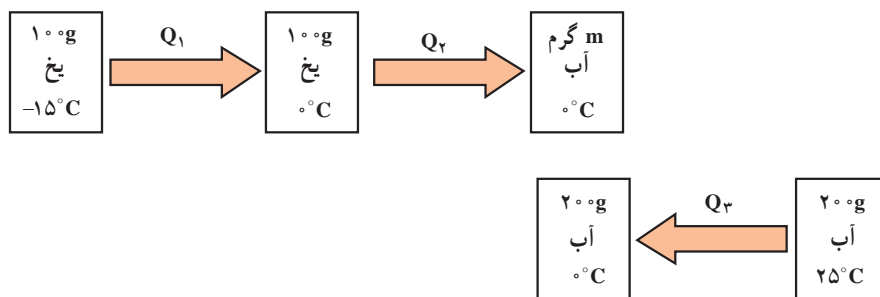
بنابراین کل گرما برابر است با

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -214.25\text{kJ}$$

یعنی باید 214.25kJ گرما از آب بگیریم.

در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز 200g آب با دمای 25°C وجود دارد. قطعه یخی به جرم 100g و دمای -15°C درون آن می‌اندازیم. پس از مبادلهٔ گرما 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 1atm برابر 0°C است. مرحله‌های طرح‌وار این فرایند در شکل زیر رسم شده است.



$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$m_{\text{یخ}} c_{\text{یخ}} \Delta\theta_{\text{یخ}} + m_{\text{یخ ذوب شده}} L_f + m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta\theta_{\text{آب}} = 0$$

$$0/1 \times 2100 \cdot (0 - (-15)) + m \times 334000 + 0/2 \times 4200 \cdot (0 - 25) = 0$$

$$3150 + 334000m - 210000 = 0$$

$$334000m = 17850 \Rightarrow m = 0/053\text{kg} = 53\text{g} \quad (\text{جرم یخ ذوب شده})$$

بنابراین 47g از یخ ذوب نشده باقی می‌ماند.

تمرین ۳۴

اگر در مثال ۶-۹ جرم قطعه یخ اولیه 50g باشد، دمای تعادل چقدر می‌شود؟

آزمایش ۲-۷

وسایله‌های آزمایش: بشر شیشه‌ای با حجم 400cc ، چراغ‌گازی، سه پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

شرح آزمایش:

- 200cc آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ‌گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به 60°C برسد.
- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- قطعه یخی به جرم تقریبی 50g را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای 0°C) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.
- با استفاده از اعداد به دست آمده، گرمای ذوب یخ (L_f) را حساب کنید.

تبخیر و جوشیدن: وقتی لباس خیزی 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 می‌باشیم 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 برسند 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 ۳-۷

- الف) بررسی کنید که افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع هر یک 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 داده‌شده به مایع موجب افزایش دما و بخش دیگر موجب تبخیر سطحی مایع می‌شود. تاکنون در حل مسئله‌های گرماسنجی، 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 دما، **دمای جوش** یا **نقطه جوش** می‌گوییم.

در نقطه جوش هر چه به مایع گرما بدهیم دمای آن افزایش نمی‌یابد و همه گرما 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 گرما به جرم مایع بخار شده را **گرمای تبخیر** مایع (یا گرمای نهان تبخیر مایع) می‌نامیم و آن را با L_v نشان می‌دهیم.

$$L_v = \frac{Q}{m}$$

گرمای تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI زول 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^۲:

$$Q = mL_v$$

(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 ۳-۶ برخی از مقدارهای L_v را نشان می‌دهد که به‌طور تجربی برای آب در دماهای مختلف به‌دست آمده است.

جدول ۳-۶- مقادیر L_v برای آب در دماهای مختلف

L_v (kJ/kg)	دما ($^{\circ}\text{C}$)
۲۴۹۰	۰
۲۴۵۴	۱۵
۲۳۷۴	۵۰
۲۲۵۶	۱۰۰
۲۱۱۵	۱۵۰

فعالیت ۴-۷

تحقیق کنید چرا در جدول ۳-۶ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد.

مثال ۱۰-۷

معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 200g از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

پاسخ: با توجه به رابطه ۷-۶ و استفاده از جدول ۳-۶ داریم:

$$Q = mL_v = (200/1000)(2374 \times 10^3) = 474.8 \times 10^3 \text{ J}$$

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 بالا رفتن نقطه جوش آن می‌شود. جدول ۳-۶ نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی از مواد را در فشار یک اتمسفر نشان می‌دهد.

جدول ۶-۴- نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه جوش (°C)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیوم	-۲۶۹	۲۱
هیدروژن	-۲۵۳	۴۶۰
ازت	-۱۹۶	۲۰۰
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۴
آمونیاک	-۳۵	۱۳۶۹
اتر	۳۵	۳۷۷
برم	۵۹	۱۹۳
کلروفرم	۶۲	۲۴۷
الکل (اتانول)	۷۹	۸۴۶
بنزن	۸۰	۳۹۰
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
ید	۱۸۴	۱۶۴
گلیسرین	۲۹۰	۹۷۴
جیوه	۳۵۷	۲۹۵
گوگرد	۴۴۵	۱۵۱۰

فعالیت ۷-۵

علت سریع تر پخته شدن غذا در دیگ زودپز را با افراد گروه خود مورد بحث قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

مثال ۷-۱۱

۲ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی $1/5 \text{ kW}$ می ریزیم و آن را روشن می کنیم. الف) از لحظه آغاز جوشیدن تا تبخیر همه آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می شود؟ ب) چه مدت طول می کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام گرمای تولید شده کتری به آب می رسد.

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۶-۷ داریم:

$$Q = mL_v = (2 \times 10^6)(2256) = 4/5 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q = Pt \Rightarrow t = \frac{4/5 \times 10^6}{1/5 \times 10^3} = 3000 \text{ s} = 50 \text{ min} \quad \text{ب)}$$

برای اندازه گیری گرمای تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش های عملی گوناگونی وجود دارد که آزمایش کنید ۶-۳ براساس یکی از این روش ها طراحی شده است.

آزمایش ۳-۷



وسایل لازم: بشر 200 cc ، دماسنج، 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 (مثلاً 200 g) در آن بریزید.
۲- توری را روی سه پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و ارلن را روی توری قرار دهید.

۳- دماسنج را به کمک پایه و گیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین تر از سطح آب باشد.

۴- در لحظه ای که دمای آب به 7°C می رسد زمان سنج را روشن کنید.
($t_1 = 0, \theta_1 = 7^\circ\text{C}$)

۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان (t_2) و دما (θ_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- گرمادادن را آنقدر ادامه دهید تا مقدار قابل ملاحظه ای از آب بخار شود (تذکر: در طول گرمادادن باید شرایط چراغ و بشر ثابت بماند تا توان گرمادهی چراغ به آب تغییر نکند).

۸- زمان (t_2) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کردن آن جرم آب بخار شده (m') را به دست آورید.

۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطه $P(t_2 - t_1) = m'L_v$ به دست آورید.

تمرین ۴-۷

قطعه یخی به جرم $5/^\circ$ کیلوگرم و دمای اولیه 2°C را آنقدر گرم می کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار 100°C شود. کل گرمایی که برای این منظور صرف کرده ایم چند کیلوژول است؟

میعان: میعان، وارون فرایند تبخیر است. بخار هنگام تبدیل شدن به مایع گرما از دست می دهد. این گرما برابر گرمایی است که مایع هنگام تبخیر می گیرد. میعان نیز مانند تبخیر، در هر دمایی رخ می دهد. گرمای مربوط به میعان مقداری بخار به جرم m و گرمای تبخیر L_v از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = -mL_v \quad (8-6)$$

علامت منفی نشان دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می شود. مثلاً 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، میعان این بخار روی بدنتان به شما گرما می‌دهد.

مثال ۱۲-۴

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 5°C باشد برای آنکه حدود 5° گرم آب روی شیشه تقطیر شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟

پاسخ:

با استفاده از جدول ۴-۶ و رابطه ۸-۶ داریم:

$$Q = -mL_v = -(5^{\circ} \times 10^{-3})(2490 \times 10^3) = -124500 \text{ J}$$

در این عمل $124/5$ کیلوژول گرما به شیشه داده می‌شود.

فعالیت ۴-۴

در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

۳-۶ انبساط گرمایی

معمولاً 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 پُر می‌کند 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 ۷-۴

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.



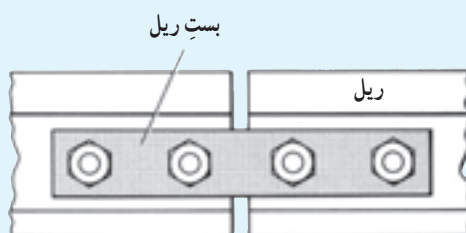
بیشتر اجسام با افزایش دما انبساط پیدا می‌کنند و یا با کاهش دما حجمشان کم می‌شود. این پدیده اساس ساخت بعضی از دماسنج‌ها و دماپا (ترموستات) است – بی توجهی به پدیده انبساط در ساختن پل‌ها، خط آهن‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

فعالیت ۸-۴

شکل الف، اتصال دو قسمت متوالی یک پل را نشان می‌دهد. تحقیق کنید چرا برای اتصال دوبخش پل از این روش استفاده می‌شود. شکل ب، طرحی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه‌آهن) را نشان می‌دهد. تحقیق کنید اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نباشد، چه مشکلی پیش می‌آید (شکل پ).



(ب)



(ب)



(الف)

جدول ۶-۵- ضریب انبساط طولی برخی اجسام

ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$	ماده
$1/2 \times 10^{-6}$	الماس
$3/2 \times 10^{-6}$	شیشه پیرکس
9×10^{-6}	شیشه معمولی
11×10^{-6}	فولاد
12×10^{-6}	بتون
17×10^{-6}	مس
19×10^{-6}	برنج
23×10^{-6}	آلومینیوم
29×10^{-6}	سرب
51×10^{-6}	یخ (در $0^\circ C$)

انبساط طولی: اگر میله‌ای به طول اولیه L_0 را به اندازه ΔT گرم کنیم به طول آن به اندازه ΔL افزوده می‌شود. تجربه نشان می‌دهد ΔL با L_0 نسبت مستقیم دارد. اگر ΔT خیلی زیاد نباشد ΔL با ΔT نیز نسبت مستقیم دارد. ضریب این تناسب را با α نشان می‌دهیم و داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (9-6)$$

به α ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد. یکای α ، برکلونین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجه سلسیوس $(\frac{1}{C})$ است. ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۶-۵ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای α در جدول بسیار کوچک هستند. همچنین خوب است بدانید که ضریب انبساط طولی α 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.



پلی بتونی را با طول 200 m در نظر بگیرید. افزایش طول این پل هنگامی که دمای آن 5° C زیاد شود چند سانتی متر است؟

پاسخ:

از جدول ۶-۵ و با استفاده از رابطه ۶-۹ داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \times 10^{-6})(200)(5) = 12 \times 10^{-2} \text{ m} \\ = 12 \text{ cm}$$

اگر در ساختمان این پل فضای لازم برای انبساط طولی پیش بینی نشده باشد، چنین انبساطی می تواند باعث تخریب پل شود.

آزمایش ۷-۱۴



وسایل آزمایش: دستگاه اندازه گیری ضریب انبساط طولی با چند لوله فلزی توخالی از جنس های مختلف، ارلن با درپوش سوراخ دار، لوله لاستیکی، توری، سه پایه و چراغ گاز

شرح آزمایش:

۱- طول لوله توخالی موردنظر را اندازه بگیرید (L_1) و روی دستگاه نصب کنید.

۲- در ارلن مقداری آب بریزید و درپوش آن را بگذارید.

۳- دمای محیط را بخوانید (θ_1) و دماسنج را از یک سوراخ و لوله لاستیکی را از سوراخ دیگر درپوش رد کنید.

۴- ارلن 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 ارلن برسد (θ_2).

۷- افزایش طول میله توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید (ΔL).

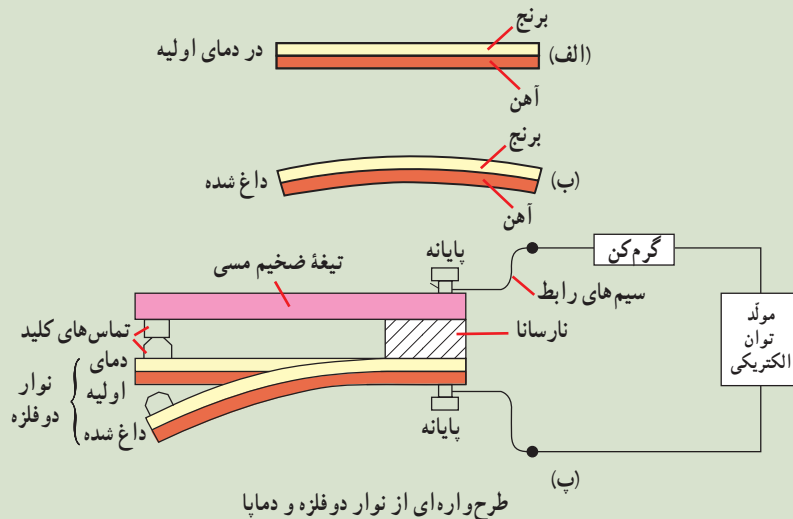
۸- با استفاده از رابطه ۶-۹ ضریب انبساط طولی را به دست آورید.

۹- میله توخالی دستگاه را عوض کنید و آزمایش را برای میله ای با جنس دیگر دوباره انجام دهید.



نوار دوفلزه^۱ و دماپا (ترموستات)

نوار دوفلزه از دو تیغه فلزی متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده یا پرچ شده اند (شکل الف). در دمای معمولی محیط، طول دو تیغه یکسان است. با افزایش دما طول تیغه‌ها افزایش می‌یابد. تیغه‌ای که ضریب انبساط طولی بزرگ‌تری 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 کنیم، نوار در خلاف جهت قبلی خم می‌شود.



طرح‌واره‌ای از نوار دوفلزه و دماپا

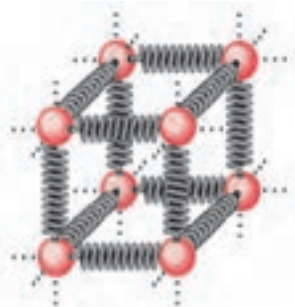
به اندازه‌ی معینی برسد بر اثر خم شدن نوار جریان قطع و گرم کن برقی خاموش می‌شود. با خاموش شدن گرم کن، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب دوباره مدار وصل و گرم کن برقی روشن می‌شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرمکن، سماور برقی و ... کاربرد دارند.

دماپا 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 دماپا استفاده می‌شود (شکل ب). در مدار ساده‌ی نشان داده شده در شکل پ، عبور جریان الکتریکی از گرم کن برقی باعث گرم شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار

فعالیت ۹-۴



شکل روبه‌رو دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دوفلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.



شکل ۶-۶ در جامدها، نیروهای بین اتمی مثل فنر عمل می‌کنند.

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 انرژی و دامنه نوسان اتم‌ها افزوده می‌شود. در این حالت فاصله متوسط اتم‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد و در نتیجه جسم انبساط می‌یابد.

۱- بای متال (bi-metal)

مثال ۷-۱۴

الف) ورقه‌ای مستطیلی شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT ، طول اضلاع مستطیل به اندازه Δa و Δb افزایش می‌یابند 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 cm^2 وقتی دمای آن 50°C بالا رود، چند سانتی متر مربع است؟

پاسخ: الف) با استفاده از رابطه ۶-۹ می‌توان Δa و Δb را به دست آورد:

$$\Delta a = \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_2 = a_1 + \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_2 = a_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta b = \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_2 = b_1 + \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_2 = b_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

مساحت ورقه پس از افزایش دما برابر با $a_2 b_2$ است و بنابراین داریم:

$$A_2 = a_2 b_2 = a_1 (1 + \alpha \Delta T) b_1 (1 + \alpha \Delta T) = a_1 b_1 (1 + \alpha \Delta T)^2$$

$$= a_1 b_1 (1 + 2\alpha \Delta T + (\alpha \Delta T)^2)$$

با توجه به اینکه α معمولاً از مرتبه 10^{-5} بر درجه سلسیوس است (جدول ۶-۵ را ببینید) و ΔT معمولاً بیشتر از مرتبه 10^2 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 چشم‌پوشی کرد. از طرفی $a_1 b_1$ همان مساحت اولیه ورقه است که آن را با A_1 نشان می‌دهیم.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta T) \Rightarrow A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta T$$

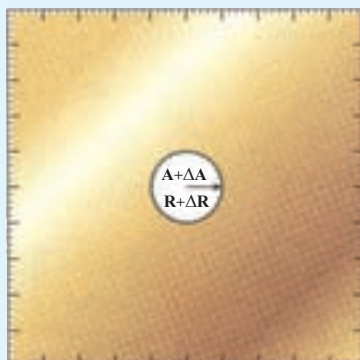
$$\Rightarrow \Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

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 برای $17 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ است و بنابراین داریم:

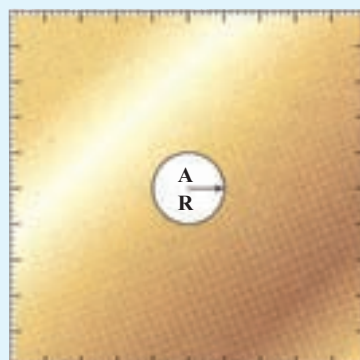
$$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(17 \times 10^{-6})(2500)(50) \approx 4 \text{ cm}^2$$

فعالیت ۷-۱۰

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.



(ب)



(الف)

انبساط حجمی: حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. اگر حجم اولیه جسم (جامد یا مایع) V_1 و افزایش دما ΔT باشد جسم، افزایش حجمی به اندازه ΔV پیدا می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \quad (10-6)$$

در این رابطه β ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع و یکای آن بر کلونین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجه سلسیوس $(\frac{1}{^\circ C})$ است.

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند انبساط آنها را به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. انبساط حجمی مایع‌ها به سادگی قابل مشاهده است. در جدول ۶-۶ ضریب انبساط حجمی برخی مایع‌ها داده شده است.

جدول ۶-۶ 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	$0/49 \times 10^{-3}$	گلیسرین
$1/27 \times 10^{-3}$	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	$1/00 \times 10^{-3}$	بنزن
$2/45 \times 10^{-3}$	آمونیاک	$1/09 \times 10^{-3}$	الکل اتیلیک

برای بیشتر جامدها انبساط طولی در راستاهای مختلف با ضریب انبساط طولی یکسان صورت می‌گیرد^۱. به همان روشی که در مثال ۶-۱۴ 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 ۶-۶ نتیجه می‌گیریم انبساط حجمی جامدها به مراتب کمتر از مایعات است.

۱- به چنین جامدهایی اصطلاحاً همسانگرد (ایزوتروپ) می‌گویند.

مثال ۱۵-۷

حجم یک شمش آلومینیومی در دمای 10°C ، برابر 1000cm^3 است. اگر دمای شمش را به 100°C برسانیم چقدر بر حجم آن افزوده می‌شود؟

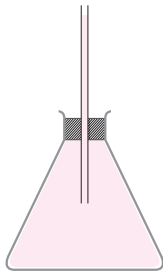
پاسخ: با استفاده از جدول ۵-۶ و رابطه ۱۱-۶ داریم:

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

حال با استفاده از رابطه ۱۰-۶ خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (69 \times 10^{-6})(1000)(100 - 10) \approx 6\text{cm}^3$$

مثال ۱۶-۷



ارلنی شیشه‌ای را که در دمای 20°C گنجایشی برابر با $200/0\text{cm}^3$ دارد، مطابق شکل با گلیسرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسرین آن را به 60°C برسانیم،

الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

ب) اگر پاسخ قسمت الف مثبت است، حجم گلیسرین سرریز شده چقدر است؟

پاسخ: افزایش حجم گلیسرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه ۱۰-۶ محاسبه

می‌کنیم:

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} = \beta_{\text{گلیسرین}} V_1 \Delta T = (49 \times 10^{-5})(200/0)(60 - 20) \approx 3/9\text{cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{شیشه}} V_1 \Delta T = (3\alpha_{\text{شیشه}}) V_1 \Delta T = (200/0)(3 \times 9 \times 10^{-6})(60 - 20) \approx 0/2\text{cm}^3$$

چون افزایش حجم گلیسرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسرین از ظرف سرریز می‌شود. حجم گلیسرین سرریز شده برابر است با:

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = 3/9 - 0/2 = 3/7\text{cm}^3$$

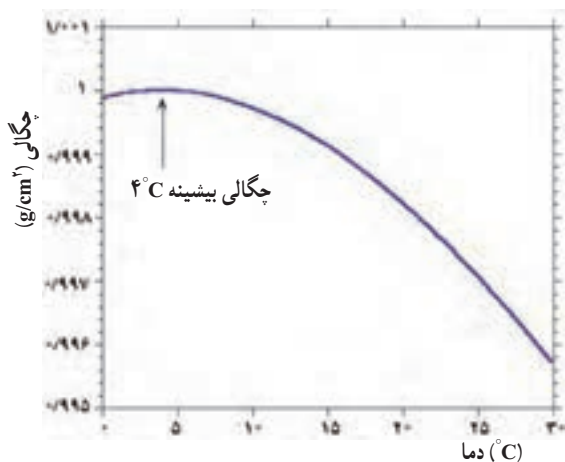
فعالیت ۱۱-۷

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسرین سرریز شده در مثال ۱۶-۶ را اندازه بگیرید. سپس مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده را با هم مقایسه کنید.

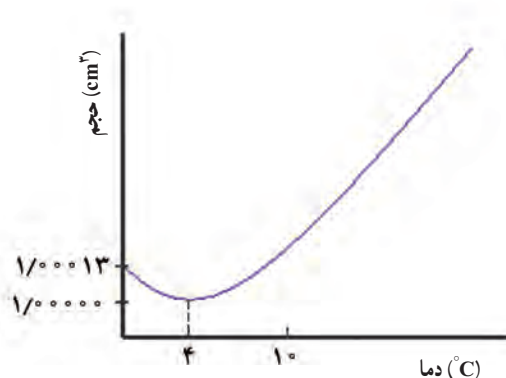
فعالیت ۱۲-۷

افزایش دما که به‌طور 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 $\rho_2 = \rho_1(1 - \beta\Delta T)$ است که در آن ρ_1 و ρ_2 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_1 و T_2 ، β 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 4°C تا 0°C متفاوت است. یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های 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 0°C تا 4°C دیده می‌شود.



(ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما



(الف) تغییرات حجم آب (شیرین) با دما

شکل ۶-۷

جدول ضریب انبساط حجمی آب

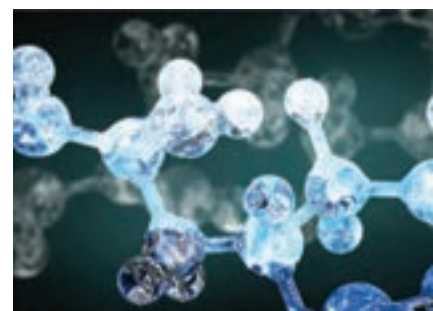
جدول روبه‌رو ضریب انبساط حجمی آب را در چند دمای مختلف نشان می‌دهد که در توافق با شکل‌های ۶-۷ الف و ب است و از روی آن می‌توان به رفتار غیرعادی آب در دماهای 0°C تا 4°C و رفتار طبیعی آن در دماهای بالاتر از 4°C پی برد.

دما ($^{\circ}\text{C}$)	$\beta \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}}\right)$
۱	-48×10^{-6}
۴	۰
۷	45×10^{-6}
۱۰	88×10^{-6}
۱۵	151×10^{-6}
۲۰	207×10^{-6}

همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می‌شود دریاچه‌ها به جای اینکه از پایین به بالا یخ بزنند از بالا یخ بزنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از 10°C کمی کمتر شود، چگالی آب، نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای 4°C ادامه می‌یابد. ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایین‌تر از 4°C حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. یعنی سرد شدن 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 در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه‌ها از بین می‌رفت. افزون بر این، وجود لایه یخ در سطح دریاچه مانند یک عایق گرمایی عمل می‌کند و مانع سرد شدن آب عمق دریاچه می‌شود.

رفتار شگفت‌انگیز آب را می‌توان با ساختار غیرعادی شبکه بلوری یخ توضیح داد. می‌دانیم حجم اشغال شده با آرایش منظم مولکول‌ها در مقایسه با حجم اشغال شده با آرایش نامنظم همان مولکول‌ها کمتر است. مولکول‌های آب در بلور یخ طوری آرایش یافته‌اند که در بعضی نواحی، مولکول‌ها خیلی به هم نزدیک‌اند در حالی که در نواحی دیگر بین آنها فضای خالی وجود دارد (شکل ۶-۸). وقتی آب از بلور یخ به حالت مایع تبدیل می‌شود، برخلاف سایر اجسام، آرایش مولکول‌های آن یکنواخت‌تر می‌شود. یعنی فاصله بین مولکول‌هایی که خیلی به هم نزدیک بودند افزایش می‌یابد در حالی که فاصله بین مولکول‌هایی که فضای خالی میان آنها وجود داشت کم می‌شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می‌یابد. در محدوده دماهای 0°C تا 4°C بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز در آب وجود دارد و موجب رفتار غیرعادی آب می‌شود.



شکل ۶-۸- نمایشی از آرایش مولکول‌های آب در بلور یخ

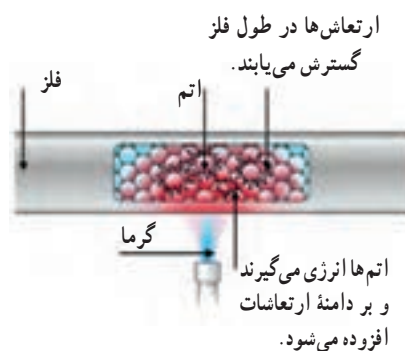
۶-۴ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارت‌اند از **رسانش گرمایی**، **همرفت** و **تابش گرمایی**. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این سازوکارها دخالت داشته باشند (شکل ۶-۹). انتقال گرما از جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می‌یابد که دو جسم همدما شوند و اصطلاحاً به تعادل گرمایی برسند. در ادامه به بررسی سازوکار هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

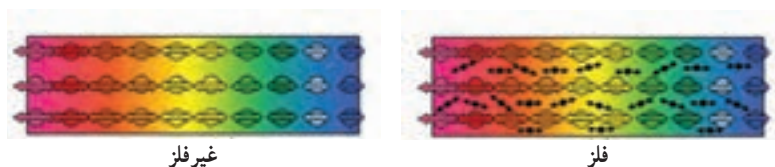


شکل ۶-۹- در این شکل، هر سه روش انتقال گرما را در تصویری مشاهده می‌کنید.

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 کرده‌ایم. در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با انتقال گرما به روش رسانش آشنا شده‌ایم. در واقع ارتعاش اتم‌ها (شکل ۶-۱۰) و الکترون‌های آزاد در ناحیه گرم شده جسم موجب انتقال بخشی از انرژی آنها به اتم‌ها و الکترون‌های بسیار زیاد مجاورشان و در نتیجه انتقال گرما به روش رسانش می‌شود. رسانش گرما در مواد مختلف، متفاوت است. چون الکترون‌ها بسیار کوچک‌اند، به سرعت حرکت می‌کنند و با برخورد با سایر الکترون‌ها و اتم‌ها سبب رسانش گرمایی می‌شوند. بنابراین در رساناهای فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرمایی بیشتر از اتم‌هاست. در حالی که فلزها رساناهای خوب گرما هستند، موادی مانند شیشه، چوب و آجر رساناهای چندان خوبی به‌شمار نمی‌روند (شکل ۶-۱۱). به همین دلیل از ماده‌های عایق مخصوصی در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از خروج جریان گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.

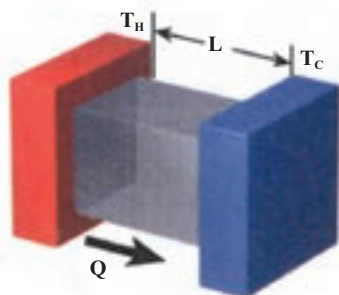


شکل ۶-۱۰- ارتعاش اتم‌ها موجب انتقال انرژی گرمایی شده است.



شکل ۶-۱۱- در رساناهای فلزی، الکترون‌های آزاد نقشی اساسی در رسانش گرمایی بازی می‌کنند.

برخی آشپزها برای آنکه سیب زمینی زودتر آب پز شود ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب زمینی می گذارند و بعد آن را در آب می اندازند و گرم می کنند. علت این کار آشپزها چیست؟



شکل ۶-۱۲. میله ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_C و T_H قرار گرفته است.

با شناسایی عوامل مؤثر بر انتقال گرما به روش رسانش می توانیم گرمای منتقل شده از یک سر به سر دیگر میله ای را محاسبه کنیم.

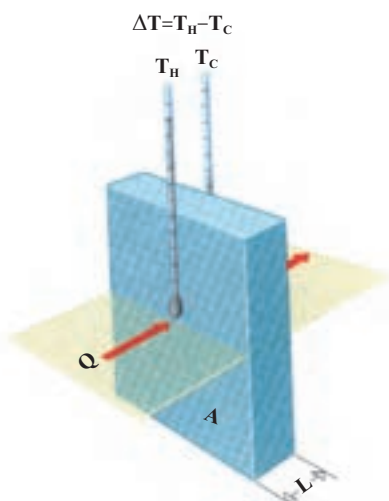
فرض کنید طول یک میله L و مساحت مقطع آن A باشد (شکل ۶-۱۲). دمای انتهای سرد میله را T_C و دمای انتهای گرم میله را T_H می نامیم. گرمایی که در مدت زمان t از انتهای گرم میله به انتهای سرد آن شارش می یابد را با Q نشان می دهیم. نسبت $\frac{Q}{t}$ ، آهنگ رسانش گرمایی نامیده می شود و آن را با H نشان می دهیم. تجربه نشان می دهد 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:

$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A(T_H - T_C)}{L} \quad (۶-۱۲)$$

در این رابطه، k رسانندگی گرمایی است که به جنس میله بستگی دارد. یکای رسانندگی گرمایی در SI، $J/s \cdot m \cdot K$ یا وات بر متر - کلونین ($W/m \cdot K$) است. جدول ۶-۷ رسانندگی گرمایی برخی مواد را به دست می دهد.

جدول ۶-۷. رسانندگی گرمایی برخی از مواد

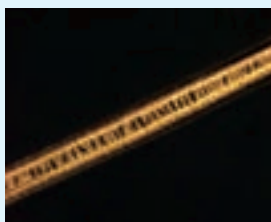
ماده	رسانندگی گرمایی ($W/m \cdot K$)	ماده	رسانندگی گرمایی ($W/m \cdot K$)
پشم شیشه	۰/۰۵	یخ	۲
چوب پنبه	۰/۰۴	سرب	۳۵
هوای خشک	۰/۰۲۴	آهن	۸۰
انواع چوب	۰/۱ تا ۰/۲	آلومینیم	۲۳۵
آب	۰/۶	نقره	۴۲۰
آجر	۰/۶ تا ۰/۸	مس	۴۰۰
انواع شیشه	۰/۶ تا ۱		



شکل ۶-۱۳. تیغه ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_C و T_H قرار گرفته است.

اگرچه رابطه ۶-۱۲ برای میله بیان شده است، ولی برای هر تیغه یا بُره ای با مساحت مقطع A و ضخامت L نیز برقرار است (شکل ۶-۱۳).

فعالیت ۱۴-۷



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

موهای خرس های قطبی تو خالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه داشتن بدن آنها در سرمای قطب دارد؟

مثال ۱۷-۷

طول و عرض شیشه پنجره اتاقی $2/0$ m و $1/5$ m و ضخامت آن 5 mm است، در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای بیرون است، 3°C - و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای درون اتاق است، 2°C + است. آهنگ رسانش گرمایی از طریق شیشه چقدر است؟ پاسخ: با استفاده از رابطه ۶-۱۲ داریم:

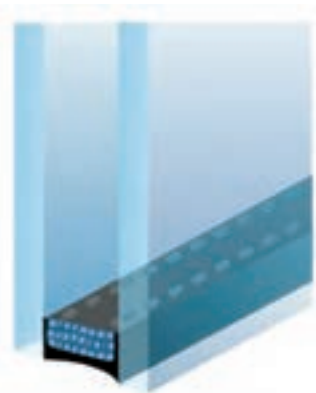
$$H = k \frac{A(T_H - T_C)}{L}$$

آنگاه با قرار دادن $k = 1 \text{ W/m.K}$ ، $A = 1/5 \times 2/0 = 3 \text{ m}^2$ ، $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ و $L = 0/005 \text{ m}$ در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$H = 1 \times \frac{(3)(5)}{0/005} = 3000 \text{ W}$$

اگر بخواهیم با استفاده از یک بخاری برقی گرمای هدر رفته از پنجره را جایگزین کنیم، توان گرمایی این بخاری 3000 W می شود.

مثال ۱۸-۷



برای جلوگیری از اتلاف گرما در شیشه پنجره های معمولی، آنها را با شیشه های دوجداره با لایه میانی هوا جایگزین می کنند. طول و عرض شیشه دوجداره پنجره اتاقی به ترتیب 2 m و $1/5$ m، ضخامت هر یک از دو لایه شیشه ای آن 5 mm و ضخامت لایه میانی هوا 10 mm است. در یک روز زمستانی، دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون اتاق است 3°C - و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم درون اتاق است 2°C + است. آهنگ رسانش گرمایی را در این حالت با عدد به دست آمده در مثال قبل مقایسه کنید. در این حالت می توان شیشه دوجداره را مانند تیغه یا بره ای 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 یکسان بودن آهنگ رسانش گرمایی در لایه های مختلف انجام می شود و به رابطه زیر می انجامد که تدریس آن موضوع کار این کتاب نیست، در مثال ۶-۱۸، $n = 3$ 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 کوچک تر) با عدد به دست آمده در مثال قبل دارد که این اهمیت استفاده از شیشه های دوجداره برای جلوگیری از اتلاف گرما را نشان می دهد.

همرفت: وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می گذاریم چطور همه آب آن در مدت نه چندان زیادی گرم می شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می کند؟ انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند به روش **همرفت**، یعنی همراه با جابه جایی بخشی از خود ماده، انجام می گیرد. همان طور که خواهیم دید این پدیده بر اثر کاهش چگالی شماره با افزایش دما صورت می گیرد. انتقال گرما به روش همرفت را می توان به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش داد.

آزمایش ۷-۵



وسایله های آزمایش: لوله همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه های پرمگنات پتاسیم یا جوهر، شعله گاز

شرح آزمایش:

- ۱- لوله را از آب سرد پر کنید و به آرامی چند دانه پرمگنات پتاسیم (یا چند قطره جوهر) را از دهانه ظرف به داخل آن بریزید.
- ۲- یکی از شاخه های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخه قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.
- ۳- دستتان را از شاخه قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخه قائم لوله را لمس کنید.
- ۴- مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هر یک از مشاهدات را توضیح دهید.

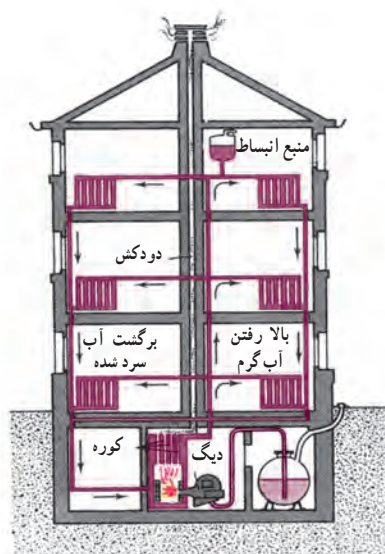
همرفت می تواند در همه شماره ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، برخلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال تکه هایی از خود ماده صورت می گیرد و مولکول ها مسافت هایی طولانی را طی می کنند تا انرژی منتقل شود. وقتی شماره از زیر در تماس با منبعی گرم تر از خود قرار گیرد، مولکول های زیرین شماره حرکت می کنند و بیشتر از هم دور می شوند. چگالی این قسمت از

شاره کاهش می یابد و به بالا رانده می شود. شاره خنک تر و چگال تر پایین می آید و جای شاره گرم شده را می گیرد و به این ترتیب جریان های همرفتی به وجود می آیند. گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیله بخاری یا شوومینه (شکل ۶-۱۴)، جریان های باد ساحلی (شکل ۶-۱۵)، گرم شدن آب درون قابلمه (شکل ۶-۱۶)، انتقال گرما از کوره هسته ای واقع در مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیده همرفت رخ می دهند. همه این مثال ها نمونه هایی 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 می شود تا با این چرخش انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم کننده مرکزی در ساختمان ها (شکل ۶-۱۷)، سیستم خنک کننده موتور اتومبیل، دستگاه گردش خون در بدن جانوران خونگرم و ... مثال هایی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.



شکل ۶-۱۴- گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت



شکل ۶-۱۵- جریان های باد ساحلی در شب و روز، ناشی از پدیده همرفت. به جهت چرخش هوا توجه کنید.

شکل ۶-۱۶- گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

شکل ۶-۱۷- طرحی از سیستم گرم کننده مرکزی در ساختمان ها

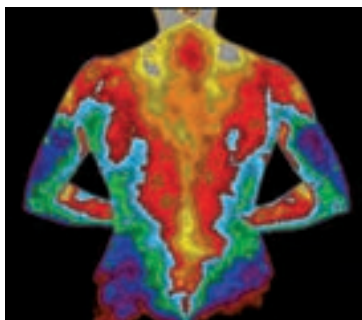
وارونگی هوا^۱: وارونگی هوا که معمولاً در شب های آرام و بدون ابر زمستان شروع می شود پیامد توقف همرفت طبیعی در جو زمین است. در چنین شب هایی لایه هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایه هوای گرم بالاتر قرار می گیرد. این لایه هوای گرم، پیش از این بر اثر پدیده همرفت در یک روز معمولی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایه هوای سرد مجاور زمین آن را چگال تر از هوای سردی می کند که در شرایط طبیعی به پایین رانده می شود (شکل ۶-۱۸ الف) و

بدین ترتیب مانع از چرخش هوا بر اثر 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 ۶-۱۸ ب). به این پدیده **وارونگی هوا** می‌گویند. وارونگی هوا تا وقتی تداوم دارد که بر اثر وزیدن باد لایه‌های هوای سرد و گرم جابه‌جا شود یا با افزایش دمای قابل توجه لایه سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جو زمین از سر گرفته شود. با توجه به اینکه در این پدیده الگوی تغییرات دما در یک روز طبیعی برهم می‌خورد به آن وارونگی دما نیز گفته شده است.

شکل ۶-۱۸- 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 نزدیک کردن دستان به اجسام گرمی مانند کتری روی اجاق روشن یا رادیاتور گرم شوفاژ 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 دستان 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 شوفاژ و ... از خود پرتوهایی گسیل می‌کنند که دست ما با جذب آن گرم می‌شود. این پرتوها از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند که در درس فیزیک سال آخر دبیرستان 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°C تابشی گرمایی با آهنگی در حدود 100W دارد (شکل ۶-۱۹) در دماهای متداول، اجسام معمولاً تابش فروسرخ دارند. این نوع انتقال گرما به محیط مادی نیاز ندارد و با سرعت نور در خلأ منتشر می‌شود. تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۶-۲۰). سطوح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است. تف‌سنج‌های تابشی یکی از وسایل اندازه‌گیری دما برای اجسام داغ هستند که اساس کار آنها بر تابش گرمایی گسیل شده از سطح اجسام بنا شده است.



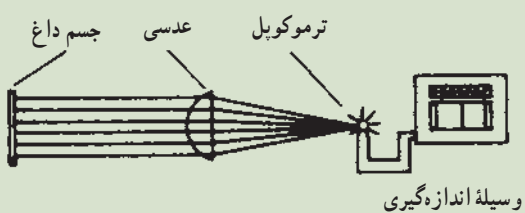
شکل ۶-۱۹- بدن یک شخص معمولی با آهنگی در حدود 100W تابش گرمایی می‌کند.



شکل ۶-۲۰- درون مکعب لیسلی آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه جانبی مکعب، که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.



تف‌سنج (پیرومتر): تف‌سنج‌ها، دماسنج‌هایی هستند که براساس تابش حاصل از اجسام طراحی شده‌اند. اهمیت تف‌سنج‌ها در این است که برخلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرند. دو نوع معروف این دماسنج‌ها، عبارت‌اند از تف‌سنج تابشی و تف‌سنج نوری.

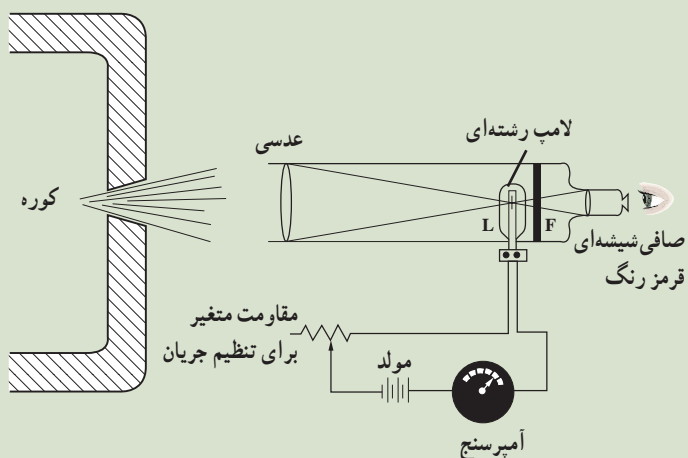


(الف) تف‌سنج تابشی و طراحی از ساختار آن

(الف) تف‌سنج تابشی: این تف‌سنج وسیله‌ای است که دمای جسم داغ را با متمرکز کردن تابش گرمایی گسیل شده از جسم روی یک ترموکوپل یا آرایه‌ای از ترموکوپل‌ها اندازه می‌گیرد. می‌توان دمای جسم را از روی جریان خروجی ترموکوپل تعیین کرد.

(ب) تف‌سنج 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

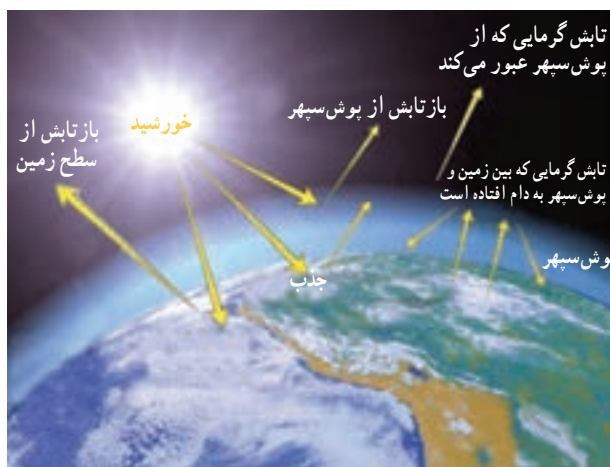
رنگ و شدت نور تابیده از جسم داغ، با رنگ و شدت نور یک لامپ رشته‌ای است. نور تابیده از جسم داغ، توسط یک عدسی روی رشته لامپ متمرکز می‌شود و ناظر که از طریق یک دوربین رشته‌ای ملتهب لامپ را در زمینه نور حاصل از جسم داغ می‌بیند، شدت جریان لامپ را آنقدر تغییر می‌دهد تا روشنایی لامپ برابر روشنایی زمینه شود، به طوری که رشته لامپ محو شود. با اندازه‌گیری این جریان می‌توان دمای جسم داغ را تعیین کرد.



(ب) تف‌سنج نوری و طراحی از ساختار آن



اثر گلخانه‌ای^۱: بخشی از نور خورشید با عبور از جو زمین به سطح آن می‌رسد. بخش عمده این نور جذب زمین می‌شود، زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند CO_2 ، بخار آب و متان (CH_4) - که مولکول‌های جذب‌کننده بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند - در لایه پوش سپهر (استراتوسفر) جو زمین (لایه‌ای حدوداً در فاصله ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین) باعث کدر 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 پوش سپهر 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 هوای گرم از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به دام افتادن تابش گرمایی بین لایه پوش سپهر و سطح زمین **اثر گلخانه‌ای** و به گازهای موجود در لایه پوش سپهر که سبب این پدیده می‌شوند **گازهای گلخانه‌ای** می‌گویند. اگر لایه پوش سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود 18°C - می‌شد ولی اینک این دما در حدود $15^\circ\text{C} +$ است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود 33°C به دمای میانگین سطح زمین افزوده است (شکل ۶-۲۱).



شکل ۶-۲۱- جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در پوش سپهر، اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود و بدین ترتیب دمای زمین افزایش می‌یابد. در چند دهه اخیر به دلیل فعالیت‌های مختلف صنعتی و افزایش آلاینده‌هایی مثل CO_2 در جو زمین، غلظت گازهای گلخانه‌ای در لایه پوش سپهر 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.

^۱Greenhouse effect

قانون گازهای کامل (آرمانی): به گاز درون یک ظرف در بسته، مثلاً گاز درون یک قوطی

اسپری خوشبوکننده فکر کنید. 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 نوشابه پلاستیکی و توخالی را ببندیم و آن را درون جایی یخچال بگذاریم، پس از مدتی بطری مجاله می‌شود. شکل ۲۲-۶ مخزنی را نشان می‌دهد که به همین دلیل مجاله شده است. شکل ۲۳-۶ یک اسباب‌بازی را نشان می‌دهد که مخزن کوچک شیشه‌ای آن تا نیمه از یک مایع رنگی پر شده است. وقتی مخزن شیشه‌ای را در دستان خود بگیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمه خالی مخزن زیاد می‌شود و سطح مایع را به طرف پایین می‌راند. این امر سبب می‌شود مایع در لوله باریک و ماریچ بالا رود. هرچه دستان شما گرم‌تر باشد و بهتر مخزن شیشه‌ای را دربرگیرید، مایع در لوله باریک بیشتر بالا می‌رود.

دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گیلوساک و ... تلاش‌های بسیاری کرده‌اند تا رابطه 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. دماسنج و فشارسنجی، دما و فشار گاز را نشان می‌دهند و حجم گاز نیز از درجه‌بندی روی بدنه 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 اندازه کافی رقیق و یا چگالی آن به حدّ کافی کم باشد، یعنی مولکول‌های گاز آنقدر از هم دور باشند که با هم برهم‌کنش 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:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots \quad (۱۳-۶)$$

گرچه رابطه ۱۳-۶ برای گازهای کامل (آرمانی) برقرار است ولی برای گازهای واقعی که چگالی آنها به حدّ کافی کم باشد نیز با دقت نسبتاً خوبی برقرار است. در این رابطه P فشار مطلق گاز (نه فشار پیمانه‌ای) و دما برحسب کلونین است.



شکل ۲۲-۶- سرد شدنِ هوای درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه مجاله شدن مخزن شده است.



شکل ۲۳-۶- با در دست گرفتن جباب شیشه‌ای و گرم کردن آن، مایع رنگی در لوله ماریچ بالا می‌رود.



شکل ۲۴-۶- دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل

فعالیت ۱۵-۷

با وجود تلاش در جهت ثابت نگه داشتن فشار هوای درون هواپیما، مقدار آن همواره کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، بسته‌های نوشیدنی یا دِیسِر باد می‌کنند و حتی گاهی درشان باز می‌شود. با فرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

مثال ۱۹-۷

زیر پیستون یک سیلندر، هوایی با حجم 12°cm^3 و فشار یک اتمسفر وجود دارد. با فشردن پیستون، حجم هوای محبوس را به 2°cm^3 می‌رسانیم، در حالی که دمای آن را ثابت نگه داشته‌ایم. اکنون فشار هوا 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 (۶-۱۳) به صورت زیر درمی‌آید:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

این رابطه که آن را حدود ۳۵۰ سال پیش **رابرت بویل**^۱ انگلیسی و **امه ماریوت**^۲ فرانسوی مستقل از هم به دست آوردند، به **قانون بویل - ماریوت** مشهور است.

در این مثال $P_1 = 1 \text{ atm}$ ، $V_1 = 12^\circ \text{cm}^3$ ، $V_2 = 2^\circ \text{cm}^3$ و P_2 مجهول است. در نتیجه داریم: $(1)(12^\circ) = P_2(2^\circ)$ و از آنجا $P_2 = 6 \text{ atm}$ می‌شود.

فعالیت ۱۶-۷

برای بررسی درستی قانون بویل - ماریوت آزمایشی را طراحی کنید.

مثال ۲۰-۷

در آزمایشی، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از 27°C به 87°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 ۶-۱۳ به صورت زیر درمی‌آید:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

۱- Robert Boyle (1627 - 1691)

۲- Edme Mariotte (1620 - 1684)

این رابطه را در حدود ۲۰۰ سال پیش ژاک شارل^۱ و ژورف گی-لوساک^۲ به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون شارل-گی لوساک معروف است.
با استفاده از داده‌های این مثال داریم:

$$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K} \quad V_1 = 2/0 \text{ liter}$$

$$T_2 = 87 + 273 = 360 \text{ K} \quad V_2 = ?$$

بنابراین داریم:

$$\frac{2/0}{300} = \frac{V_2}{360}$$

و در نتیجه $V_2 = 2/4 \text{ liter}$ می‌شود.

فعالیت ۷-۱۷

سر سُرنگی شیشه‌ای (که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند) را بسته و آن را درون ظرف آبی می‌گذاریم. توضیح دهید با روشن کردن چراغ زیر ظرف، هریک از کمیت‌های دما، حجم و فشار هوای درون سرنگ چگونه تغییر می‌کند؟

مثال ۷-۲۱

درون استوانه‌ای ۱۲ لیتر گاز اکسیژن با دمای 7°C وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشارسنجی اندازه می‌گیریم. فشارسنج ۱۴ atm را نشان می‌دهد. دمای گاز را به 77°C و حجم آن را به ۲۵ لیتر می‌رسانیم. فشاری که فشارسنج در پایان نشان می‌دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه ۱ atm است و فرض کنید گاز درون محفظه، گاز کامل است.
پاسخ: می‌دانیم فشارسنج، فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای) را نشان می‌دهد و در قانون گازهای کامل باید از فشار مطلق استفاده کنیم. بنابراین:

$$\begin{cases} P_1 = P_{g_1} + P_0 = 14 + 1 = 15 \text{ atm} \\ V_1 = 12 \text{ liter} \\ T_1 = \theta_1 + 273 = 7 + 273 = 280 \text{ K} \end{cases} \quad \begin{cases} P_2 = ? \\ V_2 = 25 \text{ liter} \\ T_2 = \theta_2 + 273 = 77 + 273 = 350 \text{ K} \end{cases}$$

با توجه به قانون گازهای کامل داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{15 \times 12}{280} = \frac{P_2 \times 25}{350} \Rightarrow P_2 = 9 \text{ atm}$$

$$P_{g_2} = P_2 - P_0 = 9 - 1 = 8 \text{ atm}$$

بنابراین فشاری که اکنون فشارسنج نشان می‌دهد برابر است با

۱- Jacques A. S. Charles (1746 – 1823)

۲- Josef Gay – Lussac (1778 – 1850)

اسماعیل جَزری

بدیع الزمان ابوالعزّاسماعیل بن رزّاز 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 صناعه الحیل» که به اختصار «الحیل»

نیز نامیده شده است. این کتاب به زبان عربی است و سندی

مهم در تاریخ فنّآوری 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 قراین چنین برمی‌آید که او در بین جمادی الاخر و شعبان

سال ۶۰۲ هجری قمری درگذشته است. در مورد نژاد و قومیت

وی نیز در منابع چیزی نمی‌توان یافت ولی با توجه به نام عربی

او و قرائن آن زمان فرض می‌شود که وی عرب بوده است، هر چند

فرضیه‌هایی در مورد آشوری، ایرانی، ترک یا گُرد 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 ۵۹۷ تا ۶۰۲

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 به‌طور

خودکار تغییر شکل می‌دهند؛ بخش پنجم شرح پنج دستگاه

آب‌کشی از آبگیر و بخش ششم شامل توصیفی از دری است

که از برنج ریخته‌گری 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

روبه‌رو 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 چرخ‌دنده‌ها، تعداد دنده‌ها، استحکام چرخ دنده‌ها و محورها و به‌ویژه بار ناشی

از وزن آب درون ملاقه‌ها که نخست به محور و از آنجا به چرخ‌دنده‌های آن و سپس به چرخ‌دنده‌های 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

۱۹۷۶ (۱۳۵۵ هجری شمسی) به‌نمایش درآمده است. در کتاب جزری واژه‌ها و اصطلاحات فنی بسیاری به زبان

فارسی وجود دارد که نشان‌دهنده تأثیر عمیق ایرانیان بر فنّآوری جهان اسلام است.



پرسش‌های فصل ششم

- ۱ هنگامی که با دماسنج جیوه‌ای دمای آبی را اندازه می‌گیرید، موقع خواندن دما، باید مخزن دماسنج حتماً درون آب باشد، ولی وقتی پزشک دمای بدن بیمار را اندازه می‌گیرد، دماسنج را از محل تماس با بدن بیمار دور می‌کند، بعد دما را می‌خواند. چه تفاوتی بین دماسنج پزشکی و دماسنج جیوه‌ای معمولی وجود دارد که این روش اندازه‌گیری را توجیه می‌کند؟
- ۲ کدام گزینه‌ها درباره فرایند ذوب درست است؟
 الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر موارد، سبب پایین رفتن نقطه ذوب می‌شود.
 ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب افزایش نقطه ذوب آن می‌شود.
 پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.
 ت) گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.
 ث) دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب رسیده است، آن را ذوب می‌کند.
- ۳ یکی از روش‌های بالابردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.
- ۴ قبل از تزریق دارو یا سرم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.
- 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 0°C گرم کرد؟
 ب) آیا می‌توان آب را بدون آنکه یخ ببندد، تا دمایی پایین‌تر از 0°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 ویژه مایع کم باشد یا زیاد؟ چرا؟ چه عوامل دیگری نیز می‌تواند دارای اهمیت باشد؟
- ۸ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجه آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیشتری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

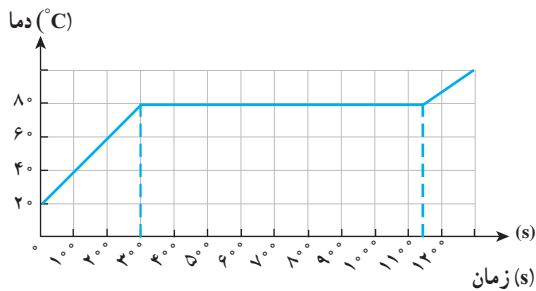
مسائل فصل ششم

- ۱ دماهای زیر را بر حسب درجه سلسیوس مشخص کنید :
 الف) 0°K ب) 273K پ) 373K ت) 546K
- ۲ هنگامی که 1kg آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب 3°C بالا می‌رود. الف) توان متوسط گرمکن را حساب کنید.
 ب) اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن را چقدر افزایش خواهد داد؟

گرما و قانون گازها

۳ دمای یک قطعه فلز ۶/۰ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در ۱۱۰s از ۱۸°C به ۳۸°C رسانده ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را ارائه می دهد؟ حدس می زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیشتر است یا کمتر؟ توضیح دهید.

۴ گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه ۸۰ گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می شود. دمای این مجموعه ۳۰°C است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب ۷۰°C به گرماسنج اضافه می شود، دمای تعادل ۵۲°C می شود. گرمای ویژه ماده نامعلوم را محاسبه کنید.



۵ به یک جسم جامد ۵/۰ کیلوگرمی توسط یک گرمکن ۱۰۰ واتی گرما می دهیم. منحنی تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل روبه 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 ۲۰۰ ژول انرژی فراهم می کند. چه مدت زمان طول می کشد تا این گرمکن ۱/۰ کیلوگرم آب ۱۰۰°C را به بخار آب ۱۰۰°C تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی، چه مقدار یخ ۰°C را به آب ۰°C می تواند تبدیل کند؟

۷ یک گرمکن که با آهنگ ثابت ۵۰۰ وات انرژی تولید می کند، به طور کامل در یک قطعه یخ بزرگ با دمای ۰°C گذاشته شده است. در مدت ۱۳۲۰ ثانیه، ۲ کیلوگرم آب با دمای ۰°C تولید می شود. گرمای نهان ذوب یخ را حساب کنید.

۸ یک گرمکن ۵۰ واتی غوطه ور در آب به طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می شود.

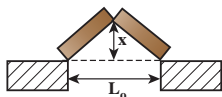
الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از ۲۰°C به ۲۵°C می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.
ب) چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از ۲۵°C به نقطه جوش (۱۰۰°C) برسد؟

پ) چه مدت طول می کشد تا ۲۰ گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۹ یک ماده فولادی ابتدا تا دمای ۸۰۰°C گرم شده و سپس در روغنی به جرم ۲kg و دمای ۱۰°C فرو برده می شود. در نتیجه، دمای روغن به ۴۰°C می رسد. با فرض آنکه دمای ماده فولادی درست پیش از ورود به روغن به اندازه ۲۰°C کم شده باشد، جرم آن چقدر بوده است؟ گرمای ویژه فولاد و روغن به ترتیب برابر با $c_{\text{فولاد}} = ۰/۶۳ \text{ kJ/kgK}$ و $c_{\text{روغن}} = ۱/۹ \text{ kJ/kgK}$ است.



۱۰ بر اثر افزایش دما به اندازه ۳۲°C، میله ای که در مرکز آن شکافی وجود دارد به بالا تاب می خورد. اگر فاصله ثابت $L_0 = ۳/۷۷ \text{ m}$ و ضریب انبساط خطی میله $\alpha = ۱۰^{-۶} / ^\circ \text{C}$ باشد، بالا رفتگی x مرکز میله چقدر است؟

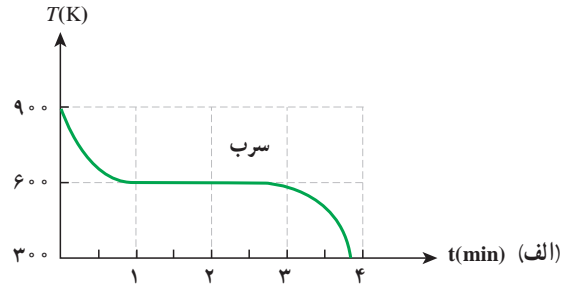
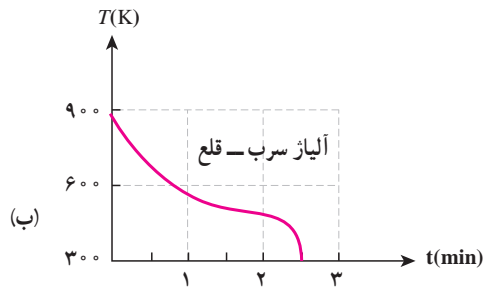


۱۱ با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی در جدول ۵-۶، انبساط تیر فولادی با طول اولیه ۲۵ متر، در اثر افزایش دما از ۱۰°C تا ۳۰°C را حساب کنید.

۱۲ با استفاده از جدول ۵-۶ حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می شود که طول یک خط کش ۵/۰ متری برنجی ۱/۱ میلی متر افزایش یابد.

- ۱۳ طول های یک سیم آهنی و یک سیم مسی در دمای 20°C با هم یکسان و برابر 100m است. آیا در دمای 60°C اختلافی در طول سیم ها مشاهده می شود؟ اگر پاسخ مثبت است مقدار آن را به دست آورید. ضریب انبساط طولی آهن را $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ در نظر بگیرید.
- ۱۴ مقداری نفت خام در مخزنی استوانه ای به ارتفاع $h=10\text{m}$ ریخته شده است. در دمای 10°C - فاصله بین سطح نفت تا بالای ظرف برابر $\Delta h=50\text{cm}$ است. ضریب انبساط حجمی نفت $\beta=10^{-4}\text{K}^{-1}$ است. اگر از انبساط دیواره ظرف در حین افزایش دما چشم پوشی شود، در چه دمایی نفت از ظرف سرریز می شود؟
- ۱۵ در روزی که دما 0°C است برای پنجره ای، شیشه ای به طول 6m انداخته شد. برای پیش بینی انبساط شیشه، فاصله کوچکی به اندازه $1/35$ میلی متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما 25°C است مشاهده می شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.
- ۱۶ شیشه پنجره ای دارای عرض 2 متر، ارتفاع 1 متر و ضخامت 4mm است.
- الف) در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون است برابر 2°C و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم داخل اتاق است 7°C است. چه مقدار گرما در هر ثانیه از طریق شیشه به بیرون اتاق انتقال پیدا می کند؟
- ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می شود؟
- پ) اگر در طول سال اختلاف دمای دو وجه شیشه به طور متوسط 3°C باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می شود؟
- ۱۷ گازی در دمای 20°C دارای حجم 100cm^3 است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت 200cm^3 شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم 50cm^3 خواهد شد؟
- ۱۸ هوایی با فشار یک اتمسفر درون استوانه ای یک تلمبه دوچرخه به طول 24cm محبوس است.
- الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به 30cm 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 هوا 17°C است فشار اندازه گیری شده در لاستیک 2 اتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل رانی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه گیری می شود. مشاهده می شود 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 راه های مهم کنترل دمای بدن است.
- الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم 50kg را، 1°C سردتر کند؟ گرمای تبخیر آب در دمای بدن (37°C) برابر 2420J/kg و گرمای ویژه بدن در حدود $3480\text{J/kg}\cdot\text{K}$ است.
- ب) حجم آبی را که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، حساب کنید.
- ۲۱ در آزمایشی جرم های 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 ببرید.
- ب) چه پدیده ای در دمای 600K برای سرب روی می دهد؟
- پ) چرا دمای سرب بیش از 2 دقیقه در 600K ثابت می ماند؟
- ت) با استفاده از نمودارهای داده شده، دو تفاوت مهم میان فلز سرب و آلیاژ سرب - قلع را نام ببرید.
- ث) چرا استفاده از لحیم نسبت به سرب برای اتصال سیم ها یا تعمیر لوله های شکسته مناسب است؟

گرما و قانون گازها



۲۲ در چاله کوچکی 1 kg آب ${}^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن یخ ببندد، جرم آب یخزده چقدر است؟

واژنامه

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
Newtons Laws	قانون‌های نیوتون	Vaporization	تبخیر
Work – Energy Theorem	قضیه کار و انرژی	Evaporation	تبخیر سطحی
Work	کار	Sublimation	تصعید
Tension	کشش	Thermal Equilibrium	تبادل گرمایی
Surface Tension	کشش سطحی	Optical Pyrometer	تفسنج 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 (دگرچسبی)
Specific Heat	گرمای ویژه	Condensation	چگالش
Condensed Matter	ماده‌چگال	Density	چگالی
Temperature Scale	مقیاس دماسنجی	Phase	حالت
Capillarity	موینگی	Motion	حرکت
Liquefaction	میعان	Kinematics	حرکت‌شناسی
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 ربایشی (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:

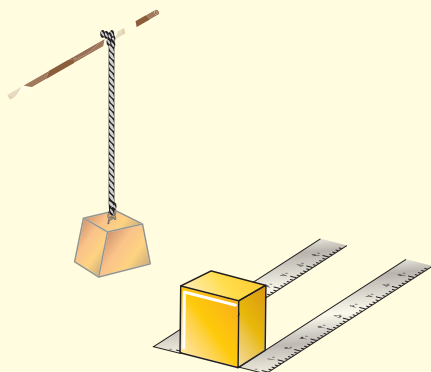
تاریخ اجرای آزمایش:

نام و نام خانوادگی اعضای گروه:

تاریخ تحویل گزارش:

وسایل لازم: وزنه فلزی قلابدار - مکعب چوبی (هم جرم با وزنه) - نخ - خط کش -

پایه - خمیر بازی - چسب نواری - ترازو



مرحله های اجرای آزمایش: ابتدا جرم وزنه قلابدار را با استفاده از ترازوی سه اهرمه

(تک کفه ای) اندازه گیری کردیم $m = 53/6g$. برای آنکه مکعب با سطح میز اصطکاک کمتری

داشته باشد زیر آن را چسب نواری چسبانندیم. سپس جرم آن را اندازه گیری کردیم و آنقدر روی

آن خمیر بازی چسبانندیم تا جرم مجموعه به $53/6$ گرم رسید. چون می خواهیم مکعب روی مسیر

مستقیم حرکت کند و در آزمایشگاه ریل پرده نداشتیم مطابق شکل روبه رو دو خط کش را در طرفین

مکعب طوری روی میز چسبانندیم که مکعب بتواند در نوار بین دو خط کش 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 $5cm$ از سطح میز بالا آورده و رها کردیم.

گلوله در برخورد با مکعب تقریباً ساکن شد و مکعب به حرکت درآمد و جابه جا شد. جابه جایی را اندازه گیری کردیم و برای کم کردن خطای آزمایش

دو بار دیگر نیز همین کار را تکرار کردیم و میانگین جابه جایی مکعب را در جدول یادداشت کردیم.

آزمایش را به همین ترتیب برای ارتفاع های دیگر هر بار سه مرتبه انجام دادیم و همه نتایج را در جدول ثبت کردیم.

جدول یا نمودار

توجه: اندازه گیری جابه جایی مکعب وقتی وزنه از ارتفاع 15 سانتی متری رها می شد در سومین دفعه خیلی با بقیه تفاوت داشت که آن را حذف کردیم

چون احتمالاً در برخورد آن با جعبه خطایی پیش آمده که متوجه آن نشده ایم.

ردیف	ارتفاع وزنه از سطح میز (cm)				جابه جایی مکعب پس از برخورد
	۱	۲	۳	میانگین	
۱	۷/۷	۷/۳	۷/۶	۷/۵	۵
۲	۱۴	۱۴/۲	۱۴/۶	۱۴/۳	۱۰
۳	۲۰/۸	۲۱/۵	۱۸/۵	۲۱/۶	۱۵
۴					

تحلیل جدول یا نمودار و نتیجه‌گیری: دیده می‌شود که وقتی ارتفاع را دو برابر کردیم تقریباً جابه‌جایی مکعب نیز دو برابر و به همین ترتیب وقتی ارتفاع را سه برابر کردیم جابه‌جایی مکعب هم سه برابر شده است.

پس نتیجه می‌گیریم که: الف) وزنه وقتی نسبت به میز در ارتفاع قرار می‌گیرد دارای انرژی است که در برخورد به مکعب آن را به شکل انرژی جنبشی 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 خطا:

الف) اصطکاک جعبه با لبه‌های خط‌کش‌ها در دو 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 اندازه بگیریم و همین موجب ایجاد خطا می‌شد.

پ) طرز قرار گرفتن گلوله و نخ موجب می‌شود که پس از رهاشدن برخورد در همه 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 وزنه‌هایی 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، رابرت رزنیک و یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۳.
- ۲- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی 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 توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵- دوره درسی فیزیک (جلد اول) گ.س. لندسبرگ، 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 منیژه رهبر، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک پایه، ویرایش سوم، بلت، ترجمه محمد خرمی و ناصر مقبلی و مهران اخبارفر، چاپ پنجم، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.
- ۹- دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمدابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۱۰- نمایش هیجان انگیز فیزیک، ویرایش دوم، یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری نژاد، 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 Heacht, 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.

معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آمان می‌توانند نظر اصلاحی خود را در باره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۳۶۳، ۱۵۸۵۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار (Email) talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دکترتالیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

