

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فیزیک (۲) و آزمایشگاه

سال دوم آموزش متوسطه

رشته های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

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

شورای برنامه‌ریزی : 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، سیدمهدی شیوایی، حسن عزیزی و غلامعلی محمودزاده

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

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

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

تلفن : ۹ - ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : سید احمد حسینی

رسام : مریم دهقان زاده

طراح جلد : علیرضا رضائی کُر

صفحه‌آرا : راحله زادفتح‌الله

حروفچین : فاطمه باقری مهر

مصحح : سیف‌الله بیگ محمد دلیوند، حسین چراغی

امور آماده‌سازی خبر : سپیده ملک ایزدی

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

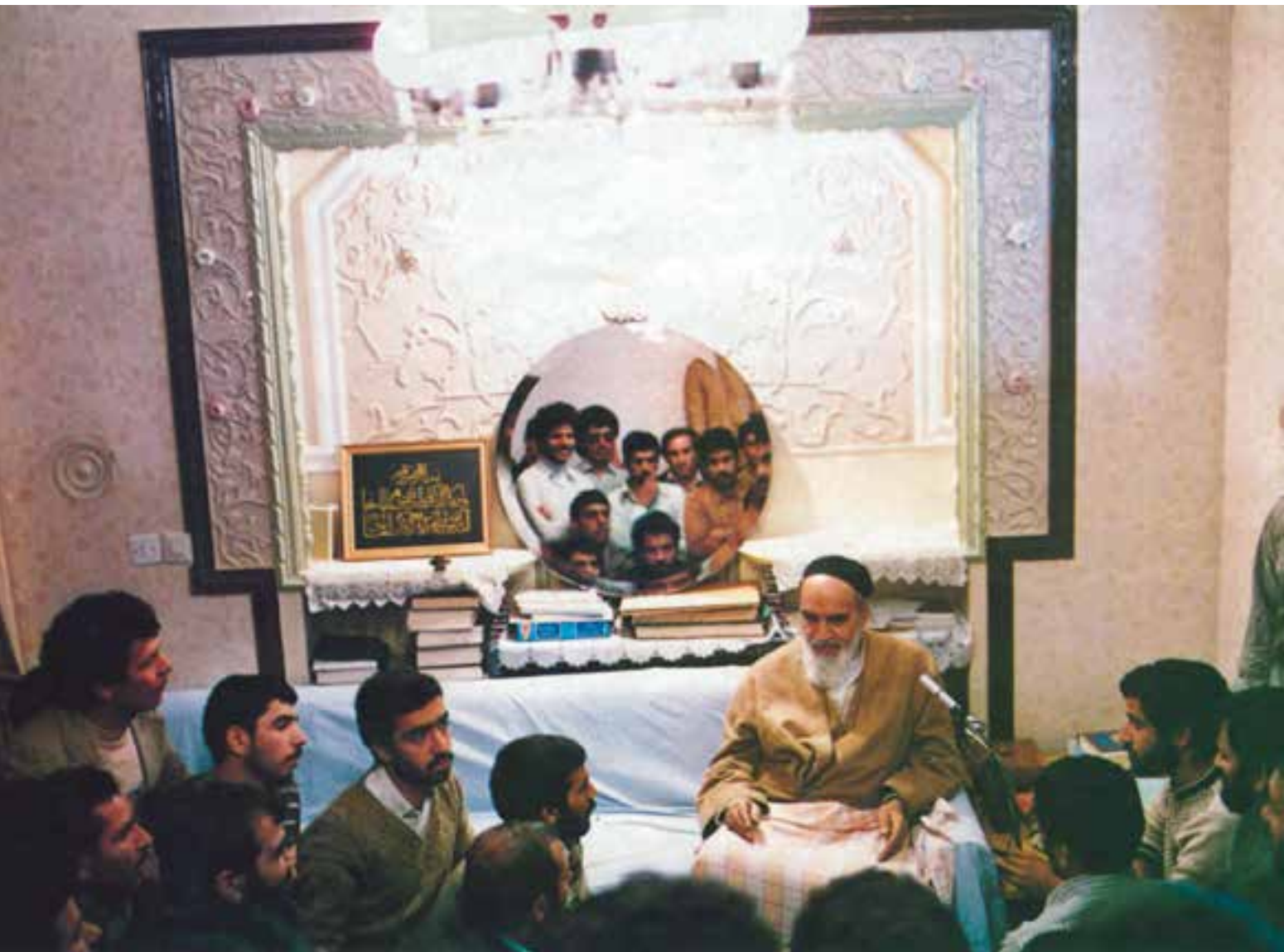
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

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

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

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ سیزدهم ۱۳۹۲

حق چاپ محفوظ است.



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

امام خمینی (رحمة الله علیه)

فهرست

۱

فصل اول - اندازه گیری و کمیت های فیزیکی

- ۱-۱- اندازه گیری ۲
- ۱-۲- کمیت های فیزیکی ۱۲
- پرسش های فصل اول ۲۲
- مسائل فصل اول ۲۲

۲۴

فصل دوم - حرکت در خط راست

- ۲-۱- مکان و جابه جایی ۲۶
- ۲-۲- سرعت متوسط و سرعت لحظه ای ۳۰
- ۲-۳- حرکت یکنواخت ۳۴
- ۲-۴- شتاب متوسط و شتاب لحظه ای ۳۶
- ۲-۵- حرکت با شتاب ثابت ۴۰
- پرسش های فصل دوم ۴۶
- مسائل فصل دوم ۴۷

- ۳-۱- نیرو ۵۲
- ۳-۲- قانون های نیوتون درباره حرکت ۵۴
- ۳-۳- معرفی چند نیروی خاص ۵۷
- ۳-۴- استفاده از قانون های نیوتون درباره حرکت ۶۸
- پرسش های فصل سوم ۷۱
- مسائل فصل سوم ۷۲

- ۴-۱- کار ۷۵
- ۴-۲- رابطه کار و انرژی جنبشی ۷۸
- ۴-۳- رابطه کار و انرژی پتانسیل ۸۲
- ۴-۴- پایداری انرژی مکانیکی ۸۴
- ۴-۵- توان ۸۷
- پرسش های فصل چهارم ۹۰
- مسائل فصل چهارم ۹۰

- ۵-۱- حالت های مختلف ماده ۹۴
- ۵-۲- چگالی ۹۶
- ۵-۳- نیروهای چسبندگی ۹۸

۹۹	۴-۵- کشش سطحی
۱۰۰	۵-۵- نیروهای چسبندگی سطحی
۱۰۱	۶-۵- موینگی
۱۰۲	۷-۵- فشار
۱۰۳	۸-۵- محاسبه فشار در مایع ها
۱۰۴	۹-۵- فشار هوا
۱۰۶	۱۰-۵- محاسبه فشار در مایع ها با در نظر گرفتن فشار هوا
۱۰۹	۱۱-۵- فشار در گازها
۱۱۲	تمرین های فصل پنجم
۱۱۲	مسائل فصل پنجم

۱۱۵	۱-۶- دما، انرژی درونی و گرما
۱۲۵	۲-۶- حالت های ماده
۱۳۰	۳-۶- اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم ها
۱۳۶	۴-۶- انتقال گرما
۱۳۹	۵-۶- قانون گازها
۱۴۳	تمرین های فصل ششم
۱۴۳	مسائل فصل ششم

سخنی با دانش آموزان و همکاران محترم

فیزیک، علمی تجربی و حاصل تلاش انسان برای درک دنیای اطراف است. این علم دانشی آزمودنی است که می تواند با مشاهده پدیده های جدید دستخوش تغییر شود. به عبارت دیگر در فیزیک هیچ نظریه ای به عنوان حقیقت پایانی و نمایی وجود ندارد. پرورش علمی دانش آموزان و برخورداری آنان از سواد علمی فناورانه از لازمه های زندگی سالم و موفقیت آمیز در جهان امروز است.

به دنبال تحولات سریع در علم و فناوری، شیوه های زندگی نیز دچار تغییر زیادی شده است. این امر سبب می شود تا نیازهای فردای دانش آموزان در زمینه علم و فناوری برای برنامه ریزان آموزشی، به طور کامل آشکار نباشد. به همین دلیل شیوه های آموزش فیزیک نیز به تبع نیازهای جدید، تغییرات چشمگیری داشته است.

در شیوه های نوین آموزش، تلاش زیادی می شود تا دانش آموز، چگونگی آموختن را بیاموزد و مهارت برخورد با یک پدیده و پیمودن مراحل را که منجر به شناسایی آن پدیده می شود، فراگیرد. در کتاب های درسی فیزیک تلاش شده است، دانش آموز در تولید مفاهیم درسی نقش فعالی داشته باشد. قسمتی از نقش دبیران محترم، طرح مناسب موضوع های درسی و سپس راهنمایی دانش آموزان برای باز کشف مفاهیم مربوط به موضوع های مطرح شده است. با توجه به این که یکی از موضوعات مورد تأکید در این کتاب، فعال بودن دانش آموزان و نقش داشتن آنها در تولید مفاهیم است، لازم است که؛ همکاران محترم از افزودن مطالب اضافی به مباحث کتاب که به شکل مبسوط در سال های آتی به آنها پرداخته خواهد شد، جداً پرهیزند. تا نقش فعالی که دانش آموزان در تولید مفاهیم می توانند داشته باشند، سبب رشد عقلی و مهارتی آنها شود. که این موضوع خود یکی از هدف های اصلی آموزش در دوره های عمومی و متوسطه است. مناسب است همکاران محترم، موضوعات درسی را به گونه ای طرح کنند که اکثر دانش آموزان در فرایند آموزش و یادگیری درگیر شوند و مهارت های علمی و عملی آنها رشد یابد.

انتظار می رود همکاران گرامی هر جا که لازم می دانند با تکیه بر تجربه خود و دیگر همکاران، فعالیت و یا آزمایشی را که به یادگیری بهتر دانش آموزان کمک می کند، طراحی کنند و آنها را به طور گروهی برانجام آزمایش ها ترغیب کنند و از آنان بخواهند که گزارش کار، پیشنهادها و نتایجی را که از فعالیت می گیرند، در دفتر خود ثبت و به کلاس ارائه کنند. چگونگی ارائه این گزارش می تواند به عنوان یکی از ملاک های ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد.

گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب های درسی ابتدایی و متوسطه نظری همواره از دریافت نظر های ارزشمند دبیران محترم، صاحب نظران و دانش آموزان جهت رفع نارسایی ها و لغزش های احتمالی به گرمی استقبال می کنند. نظر های اصلاحی خود را به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه فیزیک و یا نشانی الکترونیک physics-dept@talif-sch.ir ارسال نمایند.

گروه فیزیک

دفتر تألیف کتاب های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

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

اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

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



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 آزمایش ها 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 پرسش هایی درباره طبیعت مطرح ساختند.

اندیشه های 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 روش های علمی امروزه نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هبش، خواجه نصیر الدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه های نجوم، اپتیک و مکانیک علم فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.

گالیله ضمن بررسی حرکت اجسام روی سطح شیبدار به اندازه گیری کمیت هایی مانند جرم جسم، زمان حرکت و طول مسیر پرداخت. او سعی کرد رابطه ای بین این اندازه ها بیابد و نتیجه را به صورت ریاضی بیان کند. در روش های علمی امروزی نیز دانشمندان در جستجوی روابط ریاضی ای هستند که نتایج اندازه گیری ها را به هم مربوط می کنند.

کارشناسان فیزیک یا در شاخه های تخصصی فیزیک مانند اختر فیزیک، فیزیک هسته ای، نورشناسی، فیزیک اتمی، لیزر و ... فعالیت دارند یا در شاخه های مرتبط مانند فیزیک پزشکی، شیمی- فیزیک، هواشناسی، ژئوفیزیک، مخبرات و ... مشغول به کار هستند.

با توجه به اهمیتی که اندازه گیری در فیزیک دارد، قسمت اول این فصل به اندازه گیری و نکته های مربوط به آن اختصاص دارد. در ادامه کمیت های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می کنیم. سپس در مورد کمیت های نرده ای و برداری و محاسبات ریاضی آنها تا حد نیاز شرح خواهیم داد.



گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲ ه. ش)
فیزیکدان و منجم ایتالیایی

۱-۱ اندازه گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده اید که در ذهن خود برای هر کس یا هر چیز صفت ها و ویژگی هایی 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 جثه ای و به مورچه کوچکی و ... نسبت می دهید. برخی از این ویژگی ها به طور دقیق قابل اندازه گیری 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 اندازه گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی ها دیگر چنین روش هایی وجود ندارد.

در زندگی روزانه، هریک 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.

چه چیزی را اندازه می‌گیرد	وسایل اندازه‌گیری	مقادیر به دست آمده در یک اندازه‌گیری
۱	پزشک فشارخون، دمای بدن، ضربان قلب	۸-۱۲ میلی‌متر جیوه، ۳۷/۵ درجه سلسیوس، ۷۵ ضربان بر دقیقه
۲	نجار	
۳	خیاط	
۴	متصدی پمپ‌بنزین	
۵	شیشه‌بر	
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 همهٔ 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 فاصلهٔ 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.

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

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

فعالیت 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.

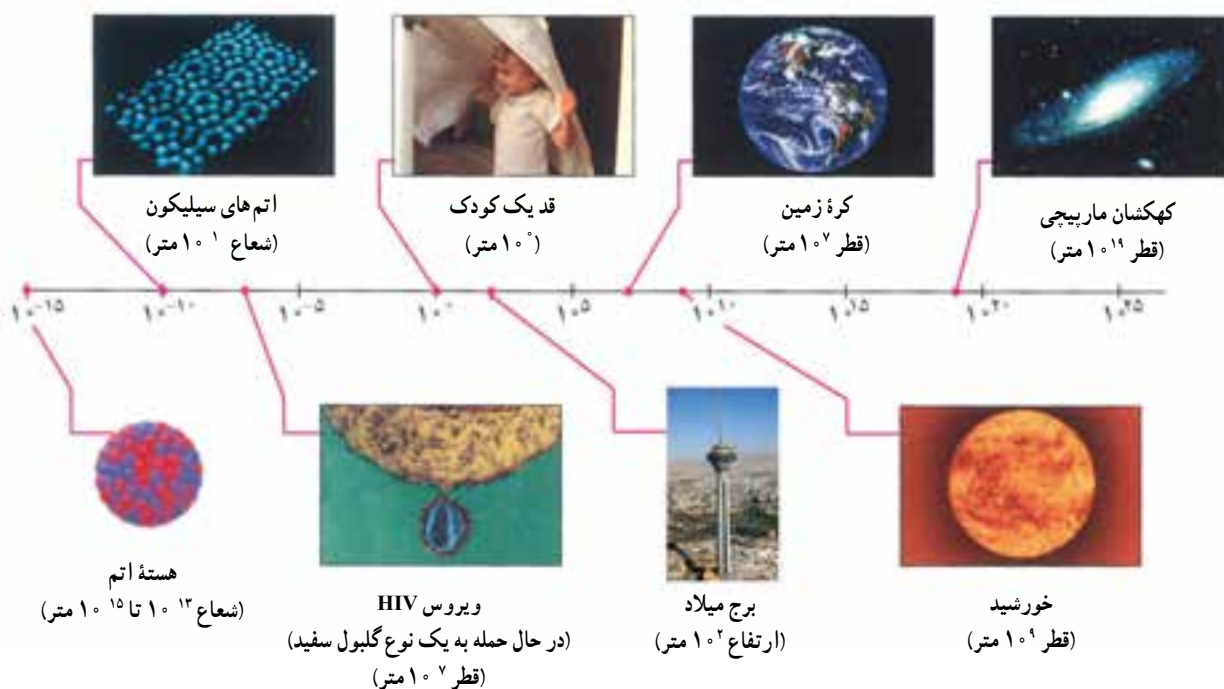
۱-SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme Internationale به معنای دستگاه بین‌المللی است.

یکاهای اصلی: در عمل نیازی نیست که برای هریک 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 سِوَر 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 سِور 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^۱ است.



شکل ۱-۲. نمونه جرم استاندارد

جدول ۱-۱. یکای پنج کمیت اصلی در SI

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

* 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 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.

فعالیت ۳-۱

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

جدول ۲-۱

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

تمرین ۱-۱

با استفاده از جدول ۲-۱ حساب کنید :

الف) $5\text{km} / 0.00005\text{cm}$ چند است؟

ب) $10^8 \times 3/5$ چند ns است؟

پ) $47\text{mg} / 0.004\mu\text{g}$ چند است؟

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً سرعت نور در خلأ به طور دقیق 458m/s ، 792 ، 299 است که در محاسبه آن را به صورت $300,000,000\text{m/s}$ تقریب می‌زنند یا برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز 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 ۱ یا مساوی ۱ و کوچک‌تر از ۱۰ و ضربی با توان صحیحی از ۱۰ 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.

مثال ۱-۱

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

r	$382 \times 10^2 \text{ km}$	m	الف) فاصله ماه تا زمین:
a _e	0.529 nm	m	ب) شعاع اتم هیدروژن در مدل اتمی بور:
m	$199 \times 10^{25} \text{ ton}$	kg	پ) جرم خورشید:
m	$16/7 \times 10^{25} \text{ g}$	kg	ت) جرم پروتون:
T	سال ۰/۲۴۱	 سال	ث) مدت زمان گردش سیاره عطارد به دور خورشید:
			ج) مدت زمان گردش الکترون به دور هسته
T	0.00015 ps	s	اتم هیدروژن در مدل اتمی بور:

پاسخ: با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم:

r	$382 \times 10^2 \text{ km}$	$3.82 \times 10^4 \text{ m}$	الف)
a _e	0.529 nm	$5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$	ب)
m	$199 \times 10^{25} \text{ ton}$	$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$	پ)
m	$16/7 \times 10^{25} \text{ g}$	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	ت)
T	سال ۰/۲۴۱	$2.41 \times 10^{-1} \text{ سال}$	ث)
T	0.00015 ps	$1.5 \times 10^{-16} \text{ s}$	ج)

تمرین ۲-۱

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

Re	$637 \times 10^4 \text{ m}$	 km	الف) شعاع کره زمین
r	$404 \times 10^{11} \text{ km}$	 m	ب) فاصله زمین تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیمای قنطورس)
M _e	$598 \times 10^{19} \text{ ton}$	 kg	پ) جرم کره زمین
m	$3344 \times 10^{27} \text{ g}$	 kg	ت) جرم دوترون (یکی از ایزوتوپ‌های هیدروژن)
t	۴۹۹s	 s	ث) مدت زمان رسیدن نور خورشید به زمین

وسيله و روش اندازه‌گیری

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

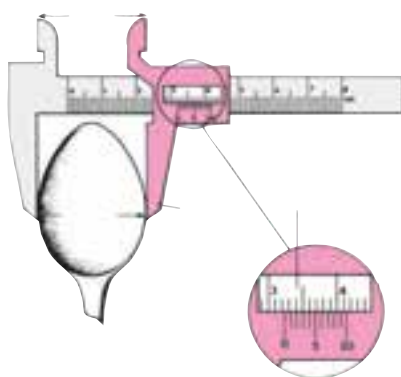
برای کم کردن خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن چند بار تکرار می‌شود. اگر عددهای به‌دست آمده متفاوت باشند، میانگین آن عددها به‌عنوان نتیجه اندازه‌گیری پذیرفته می‌شود. البته در میان عددهای متفاوت اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آیند.

وسيله اندازه‌گیری طول:

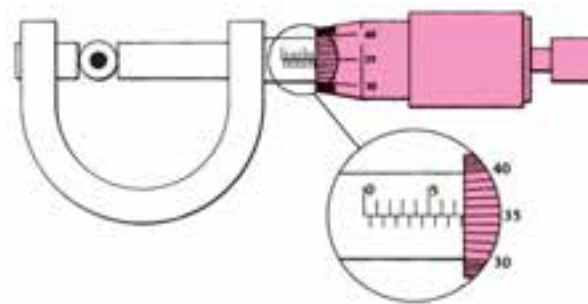
در اندازه‌گیری طول‌های نه‌چندان بزرگ و نه‌چندان کوچک از یک خط‌کش یا متر نواری استفاده می‌کنیم که برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر مدرج شده باشد. فرض کنید که می‌خواهید طول میله‌ای معین مثلاً میله AB در شکل (۱-۳) را با یک خط‌کش میلی‌متری اندازه بگیرید. در خط‌کش میلی‌متری فاصله بین هر دو نشانه متوالی برابر یک میلی‌متر است. در شکل، نقطه B بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که طول میله از ۴۱ میلی‌متر بیشتر و از ۴۲ میلی‌متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیشتر از ۴۱ میلی‌متر یا چقدر کمتر از ۴۲ میلی‌متر است، معلوم نیست.

طول این میله برحسب میلی‌متر با یک عدد صحیح مثلاً ۴۱ یا ۴۲ میلی‌متر بیان می‌شود. با این خط‌کش نمی‌توان طول میله را با عددهایی مانند ۴۱/۸ یا ۴۲/۱ و ... میلی‌متر بیان کرد. در بعضی از کارگاه‌های صنعتی مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خط‌کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها کولیس و ریزسنج هستند. کولیس‌هایی که امروزه در آزمایشگاه‌های مدرسه استفاده می‌شوند، می‌توانند تا 0.02 میلی‌متر را اندازه بگیرند. یعنی می‌توانند ضخامتی به کوچکی 0.02 mm را نشان دهند.

در شکل‌های (۱-۴ الف و ب) اندازه‌گیری با کولیس و ریزسنج نشان داده شده است.



ب) کولیس قدیمی با دقت 0.01 mm



الف) ریزسنجی با دقت 0.01 mm

شکل ۴-۱

شکل ۱-۳- اندازه‌گیری طول
یک میله با خط‌کش میلی‌متری

فعالیت ۱-۴

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 همان گونه 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 ۱-۵

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، نانوايي،

میوه‌فروشی و ... انواع مختلفی از ترازوها را دیده‌اید که برای اندازه‌گیری جرم‌های معمولی استفاده می‌شود. در شکل (۱-۵) تصویر برخی از ترازوها آمده است.

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



شکل ۵-۱

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 می‌کنیم؛ 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 می‌دهیم.

(ت) پس از قرار دادن جسم در ترازو، صبر می‌کنیم، سپس عدد موردنظر را می‌خوانیم یا مجموع وزنه‌های استفاده شده را حساب می‌کنیم.

مثال ۲-۱



در تصویر مقابل، ترازو جرم بخشی از یک میوه را $87/9 \text{ g}$ نشان می‌دهد. با این ترازو، جرم سیبی را اندازه می‌گیریم. کدام یک از عددهای زیر می‌تواند نتیجه این اندازه‌گیری باشد؟

(الف) $211/25 \text{ g}$

(ب) $211/2 \text{ g}$

(پ) $211/27 \text{ g}$

(ت) $211/30 \text{ g}$

پاسخ: دقت این ترازو $0/1 \text{ g}$ است. پس هر اندازه‌گیری با آن فقط با این دقت انجام می‌شود. بنابراین فقط اندازه‌گیری $211/2 \text{ g}$ با این ترازو معتبر است.

فعالیت ۴-۱

(الف) درباره روش و ابزار اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ مانند کامیون پر از بار و جرم‌های 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.

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

فعالیت ۷-۱

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 ۱-۳

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

- (الف) 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 200 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 این گونه 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 نرده‌ای که تاکنون با آنها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، توان، اختلاف پتانسیل الکتریکی، جرم و زمان. در مقابل، کمیت‌های دیگری نیز در فیزیک داریم که تنها با ذکر مقدار آنها برحسب یک یکای معین، 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.

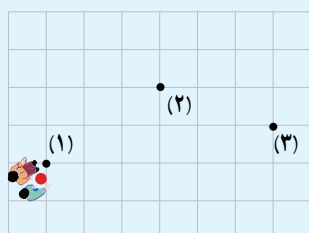
جابه‌جایی: در فیزیک، کمیتی به نام جابه‌جایی تعریف می‌کنیم و همان طور که از نام آن برمی‌آید، معرف تغییر مکان یک جسم است. **جابه‌جایی یک جسم، پاره خط جهت‌داری است که ابتدای آن مکان آغازی و انتهای آن مکان پایانی جسم است.** همان طور که دیدیم تنها با دانستن مقدار جابه‌جایی نمی‌توانیم

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 می‌آورد. 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؟

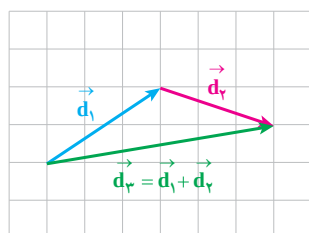
فعالیت ۸-۱



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

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت بالا به دست آورده‌اید، درمی‌یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه‌جایی $\vec{d}_1$ و $\vec{d}_2$ ، مانند شکل (۶-۱)، ابتدا جابه‌جایی $\vec{d}_1$ و سپس از انتهای آن جابه‌جایی $\vec{d}_2$ را رسم می‌کنیم. پاره‌خط جهت‌داری که ابتدای آن ابتدای $\vec{d}_1$ و انتهای آن انتهای $\vec{d}_2$ است، جابه‌جایی کل یا حاصل جمع دو جابه‌جایی ($\vec{d}_3$) را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱

جابه‌جایی، نمونه‌ای از یک کمیت برداری است. سایر کمیت‌های برداری نیز مانند جابه‌جایی‌ها با هم جمع می‌شوند. از این رو قاعده جمع جابه‌جایی‌ها را قاعده جمع برداری نیز می‌نامند.

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

پیروی می‌کند.

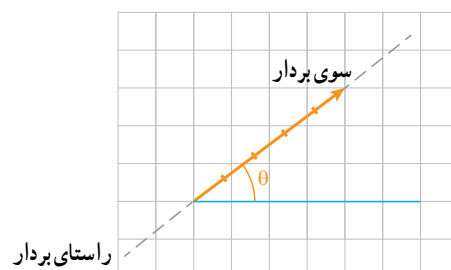
حاصل جمع چند بردار را براینده آن بردارها (یا بردار براینده) می‌نامند.

فعالیت ۹-۱

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

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

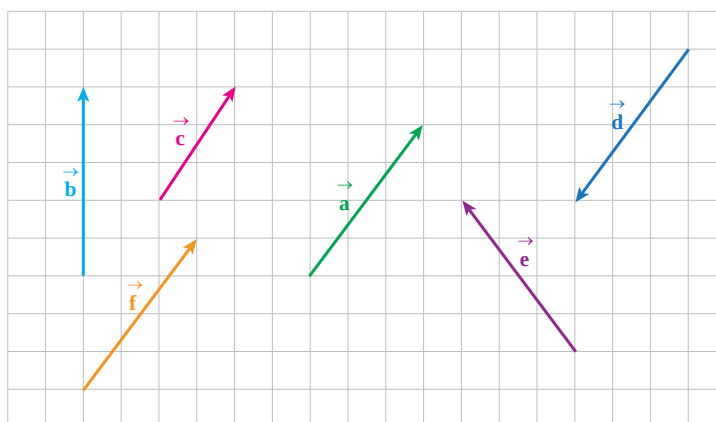
در این کتاب با کمیت‌های برداری دیگری از قبیل سرعت، شتاب، نیرو و ... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.



شکل ۱-۷- بردار $\vec{d}$ با اندازه و جهت آن مشخص می‌شود. بزرگی این بردار $d = |\vec{d}| = 5$ است.

مثال ۱-۳

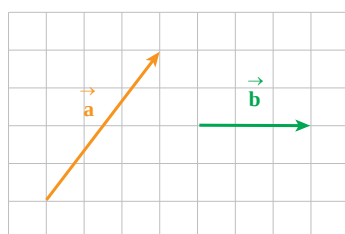
در شکل زیر بردارهای مساوی با بردار $\vec{a}$ را مشخص کنید.



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

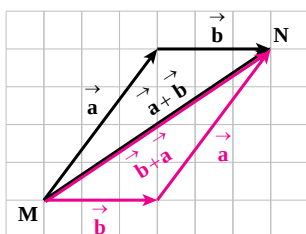
توجه داریم که جمع برداری دارای خاصیت جابه‌جایی است. یعنی حاصل جمع دو یا چند بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

مثال ۱-۴

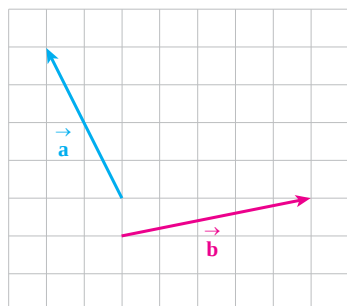


دانش‌آموزی دو جابه‌جایی بی‌دری انجام می‌دهد. هریک از جابه‌جایی‌های او در شکل روبه‌رو به‌طور جداگانه نشان داده شده‌اند. جابه‌جایی برابند دانش‌آموز را در هریک از حالت‌های زیر رسم کنید.

- (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.



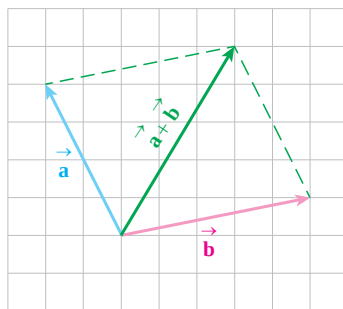
پاسخ: اگر دانش‌آموز در ابتدا روی نقطه M باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعده جمع برداری جمع می‌کنیم. با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطه N) رسیده است.



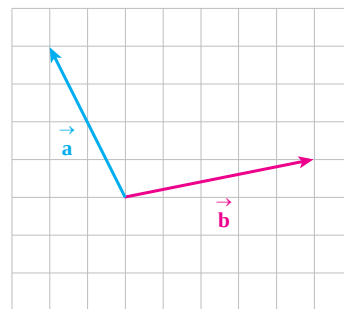
(الف)

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 ۸-۱-ب). سپس متوازی‌الاضلاع را رسم می‌کنیم که این دو بردار دو ضلع مجاور آن باشند. بردار برآیند، قطری از متوازی‌الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند (شکل ۸-۱-پ). این روش جمع دو بردار را **روش متوازی‌الاضلاع** برای جمع بردارها می‌نامیم.



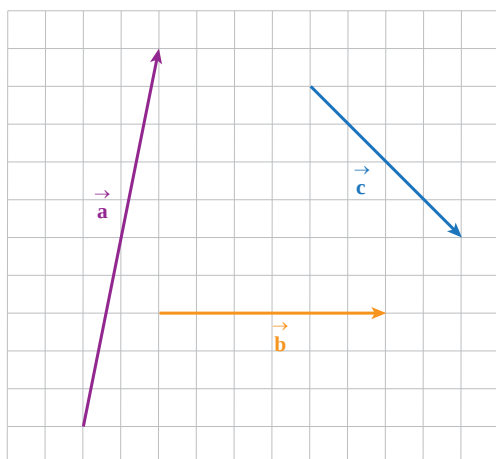
(ب)



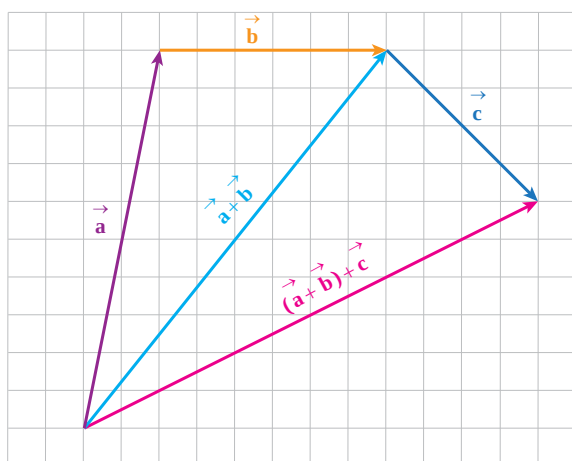
(پ)

شکل ۸-۱

مثال ۱-۵



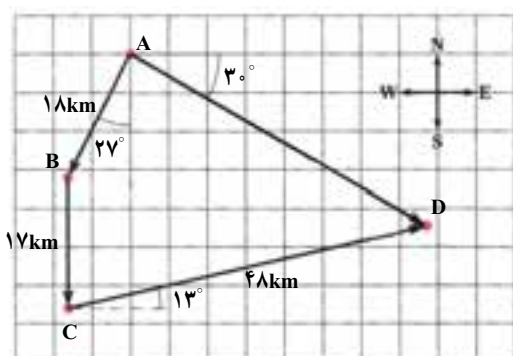
بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ را در شکل روبه‌رو در نظر بگیرید. بردار برآیند آنها را بدست آورید.



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 برآیند، برداری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

مثال ۱-۷



خودرویی از شهر A شروع به حرکت می‌کند و از شهرهای B و C می‌گذرد و به شهر D می‌رسد. این جابه‌جایی‌ها در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. با استفاده از خط‌کش و نقاله و توجه به مقیاس در نظر گرفته شده،

الف) اندازه جابه‌جایی‌های $\vec{AB}$ ، $\vec{BC}$ 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.

$$|\vec{AB}| = AB = 18 \text{ km} \quad |\vec{BC}| = BC = 17 \text{ km}$$

$$|\vec{CD}| = CD = 48 \text{ km}$$

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.

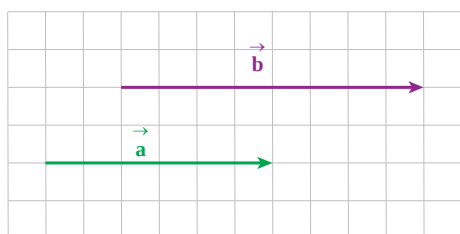
$$|\vec{AD}| = AD = 54 \text{ km}$$

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.

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.

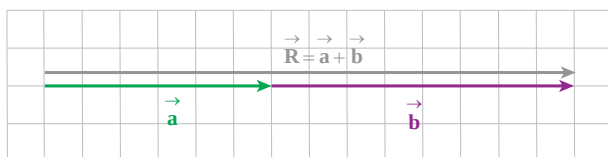
محاسبه بزرگی بردار برآیند: در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه محاسبه نیز بزرگی بردار برآیند را به دست آورد.^۱

مثال ۱-۷



(الف)

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

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

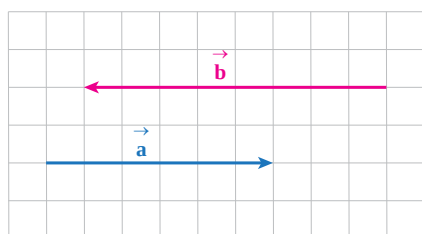
با حل این مثال: درمی‌یابیم که بزرگی بردار هم جهت $\vec{a}$ و $\vec{b}$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = a + b$$

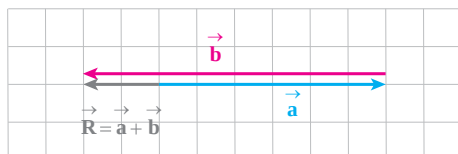
$$(۱-۱)$$

۱- در این کتاب تنها محاسبه بزرگی برایند بردارهایی مد نظر است که یا در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. برای تعیین برایند 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 به‌طور کامل خارج از برنامه درسی این کتاب است.

مثال ۸-۱



(الف)



(ب)

در شکل الف برایندهای $\vec{a}$ 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 برایندهمان گونه که در شکل پیداست، هم جهت با بردار بزرگ‌تر (یعنی بردار $\vec{b}$) است. بنابراین، بزرگی بردار براینده برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

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

چون دو بردار در خلاف جهت هم هستند، داریم:

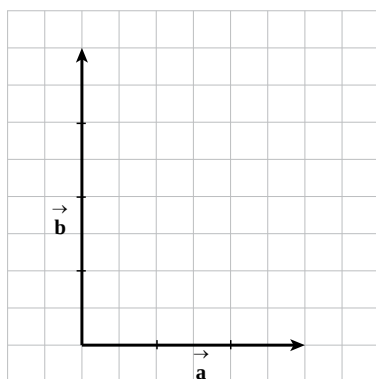
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$

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

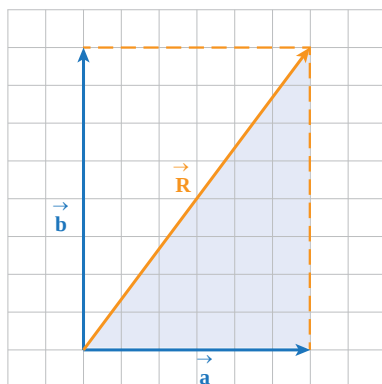
$$R = |a - b|$$

(۲-۱)

مثال ۹-۱



(الف)



(ب)

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

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

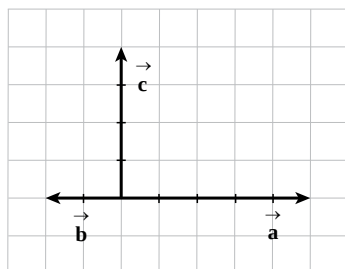
همان‌طور که در شکل ب دیده می‌شود $\vec{R}$ ، وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که ضلع‌های آن $\vec{a}$ و $\vec{b}$ است. بنابراین، می‌توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورس بنویسیم.

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

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

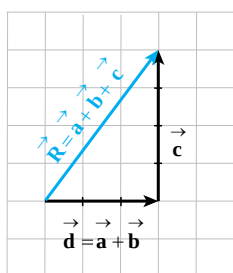
$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3-1)$$

مثال ۱-۱



(الف)

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



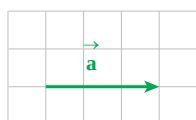
(ب)

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. $\vec{d}$ برداری است هم جهت با $\vec{a}$ و بزرگی آن برابر 3cm $5 - 2$ است. اکنون برایند دو بردار $\vec{c}$ و $\vec{d}$ را مطابق شکل ب به دست می‌آوریم.

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

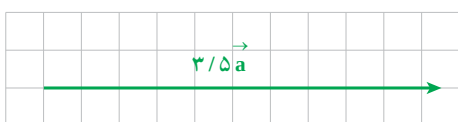
حاصل ضرب یک عدد در یک بردار: وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند m ضرب می‌کنیم جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن m برابر بردار اول است. اگر برداری را در یک عددی منفی مانند m ضرب کنیم، بردار حاصل در خلاف جهت بردار اولیه خواهد شد و بزرگی بردار حاصل m برابر بردار اول است.

مثال ۱-۲



(الف)

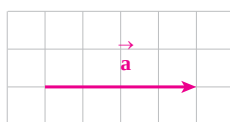
بردار $\vec{a}$ در شکل روبه‌رو رسم شده است. بردار $\frac{3}{5}\vec{a}$ را رسم کنید.



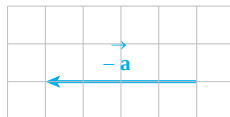
(ب)

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.

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

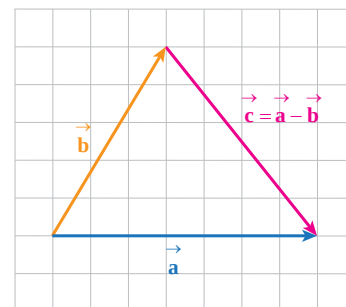
$\vec{c}$ برداری است که اگر با $\vec{b}$ جمع شود بردار $\vec{a}$ به دست می‌آید، یعنی:

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

در شکل ۹-۱، بردارهای $\vec{a}$ ، $\vec{b}$ و $\vec{c}$ طوری رسم شده‌اند که $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$ شود.

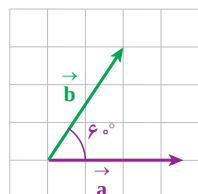
بنابراین برای به دست آوردن $\vec{c}$ ، نخست دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را از یک نقطه رسم می‌کنیم.

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.

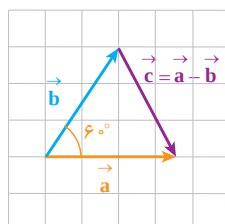


شکل ۹-۱- حاصل تفریق دو بردار

مثال ۱۳-۱



(الف)



(ب)

دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ مطابق شکل الف با یکدیگر زاویه 60° 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:

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

$$= a$$

$$= b$$

ابوبکر محمد بن حسین کرجی

ابوبکر محمد بن حسین کرجی هم‌روزگار 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 همین‌رو در تاریخ او را با نام کرجی هم شناخته‌اند که این مسئله یک اشتباه تاریخی است و برخی گمان کرده‌اند که چون محل تحصیلات او در کرخ بوده است، نام او کرجی است و تقریباً همه مورخان نسبت او را کرجی 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 آل‌بویه به تحصیل مشغول بود و با فرزند عضدالدوله دیلمی بهاءالدوله و وزیر او ارتباط برقرار ساخت و حتی کتاب «الفخری فی صناعی الجیر و المقابلی» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب **انباط‌میاة الخفیی** (به معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد.

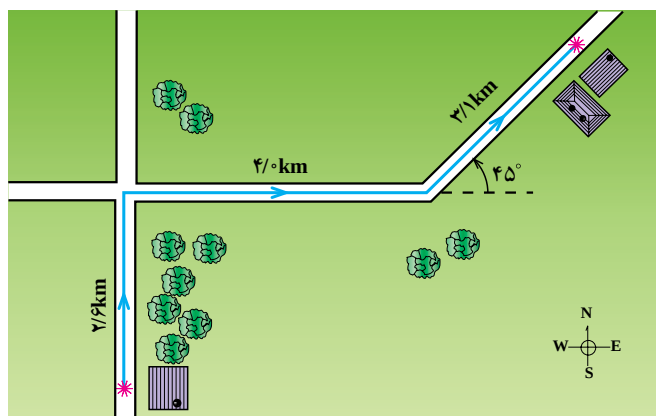
از نوشته‌های کرجی در این کتاب چنین برمی‌آید که او دربارهٔ ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی آن دانش فراوانی داشته است. برای نمونه، او از راه بهره‌وری از خاک رُس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن رانده است. کرجی همچنین در ساختن روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری نیز جایگاه والایی در تاریخ مهندسی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندا (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، اختراع‌های خود را که دربرگیرنده تراز و چند وسیله اندازه‌گیری دیگر است، تشریح می‌کند. وجود نام این دانشمند بزرگ به مدت دو دهه در دایرةالمعارف علوم نیویورک نشان از شهرت جهانی این مرد بزرگ دارد که متأسفانه در کشور ما ناشناخته مانده است.

پرسش های فصل اول

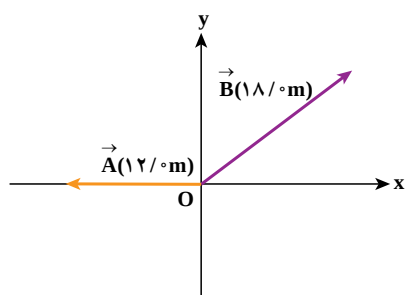
- ۱ گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.
- ۲ جرم یک سنجاق ته گرد را چگونه می توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه گیری کرد؟
- ۳ روش هایی برای اندازه گیری ارتفاع یک برج پیشنهاد دهید.
- ۴ می دانیم جمع دو بردار جابه جاپذیر است. آیا تفریق بردارها نیز جابه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

مسائل فصل اول

- ۱ جرم ذره غباری $10^{-6} \times 6/7$ 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 بازمی گردد و در سطح آب آشکارسازی 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 ۱۴s 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 روز چه مقدار خون برحسب m^3 کشیده می شود؟
- ۶ سریع ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هسپروبوکاوپیلی 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.

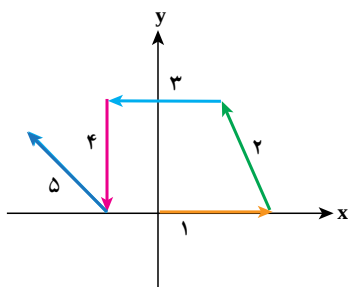


۹ برای دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در شکل روبه‌رو
الف) $\vec{A} + \vec{B}$ بردار
ب) $\vec{A} - \vec{B}$ بردار
را با رسم نمودار به دست آورید.

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 کوبری به نام کاتاگلیفیس در بیابان‌ها زندگی می‌کند. وقتی یکی از این مورچه‌ها به دنبال غذاست، حرکتش را از لانه‌اش آغاز می‌کند و پس از طی مسیری در هم 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 سانتی‌متری را در جهت‌های نشان داده شده در شکل با شروع از لانه‌اش طی کند. بردار جابه‌جایی کل را که مورچه بر روی آن به لانه خود باز می‌گردد، با رسم نموداری با مقیاس مناسب به دست آورید.



حرکت در خط راست

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

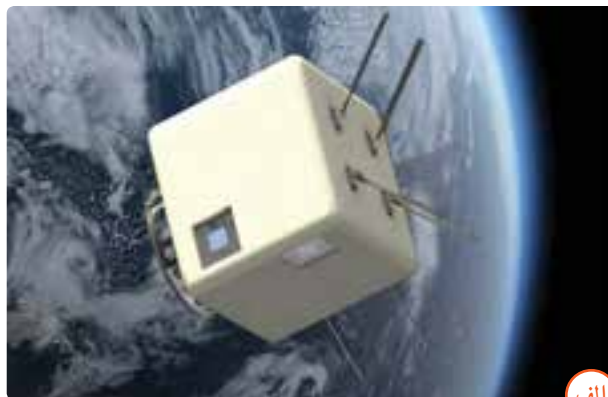


جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می کنید، حرکت های بسیاری را می بینید. افرادی که از شما دور یا به شما نزدیک می شوند، خودروهایی که با سرعت های متفاوت در حرکت اند، افرادی که با دوچرخه در حال رفتن به محل کار خود هستند، پرندگانی که در فضا پرواز می کنند، برگ هایی که از درخت می افتند و ... (شکل ۱-۲).



ب



الف



ث



ت



پ

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



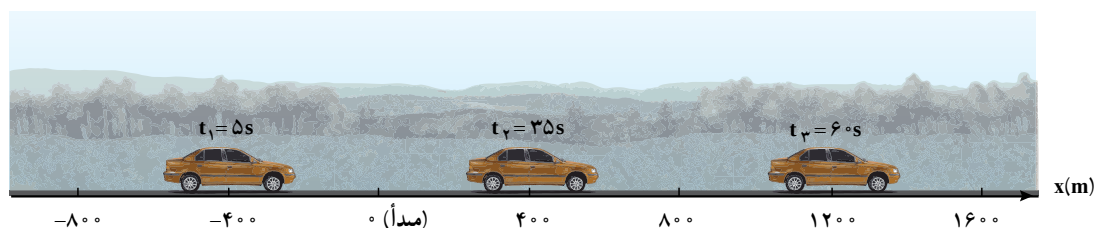
شکل ۲-۲ - حرکت دوچرخه سوار

زمانی که حرکت هایی مانند افتادن یک برگ از شاخه درخت یا حرکت یک خودرو و ... را مشاهده می کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می کند یا جابه جا می شود، ولی در بیشتر موارد، حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه سوار را در نظر بگیرید (شکل ۲-۲). اگرچه این حرکت ساده به نظر می رسد ولی با کمی توجه معلوم می شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می رود و رکاب در مسیر دایره ای حرکت می کند. به همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت به همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت های 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 هریک از اجزای آن شروع می‌کنیم. همچنین به منظور سادگی بیشتر، تنها به حرکت یک جسم روی مسیر مستقیم (خط راست) که یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است می‌پردازیم.

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 $x_2 = 800m$ جابه‌جا شده است. جابه‌جایی خودرو در این بازه زمانی برابر است با:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 800 - 400 = 400m$$

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 در مکان x و در لحظه t در مکان x باشد، جابه‌جایی آن در بازه زمانی t تا t ، 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

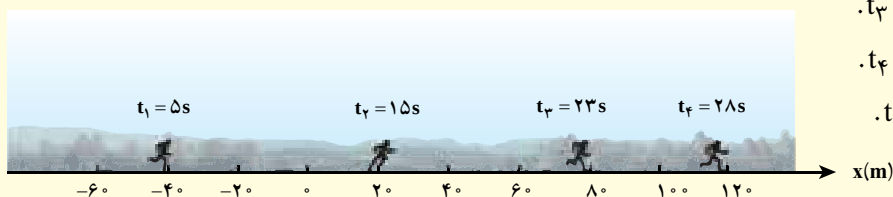
تمرین ۱-۲

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 $t_4 = 28s$.

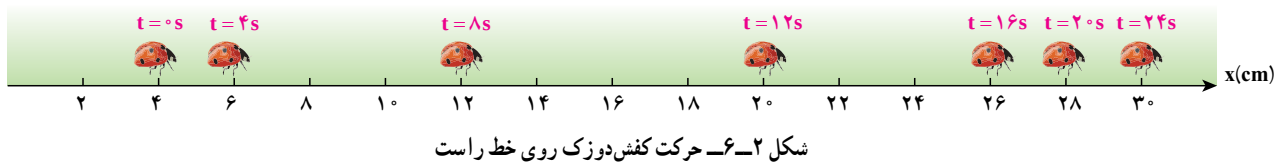


برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت، مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص می‌کنیم.

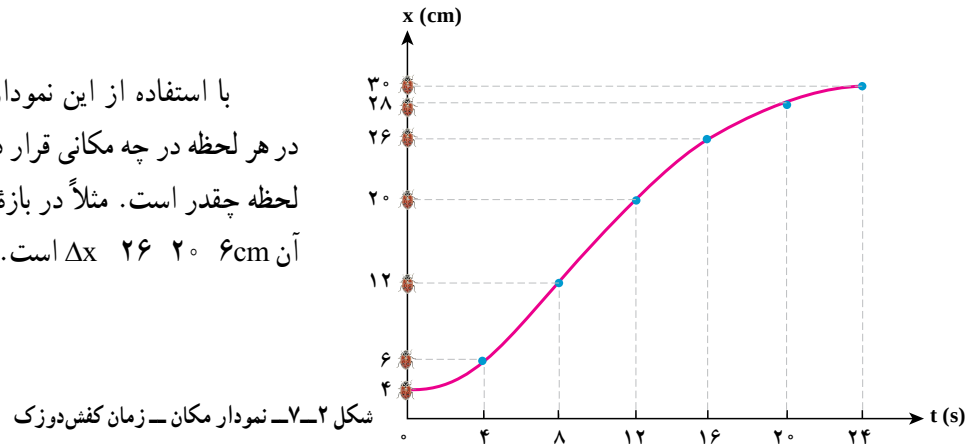
برای مثال، به حرکت کفش دوزک که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است، توجه کنید. این کفش دوزک در لحظه $t_1 = 0s$ در مکان $x_1 = 4cm$ قرار دارد، در $t_2 = 4s$ در مکان $x_2 = 6cm$ قرار دارد و اگر بخواهیم نمودار مکان - زمان حرکت کفش دوزک را رسم کنیم، ابتدا هریک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرج کرده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



۱- حرف از اول کلمه انگلیسی n t a به معنای اولیه و حرف f از اول کلمه f n a به معنای نهایی گرفته شده است.



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.

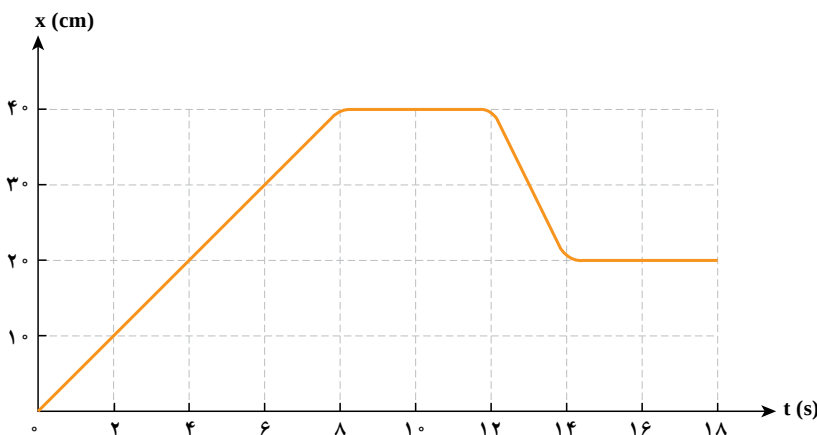


تمرین ۲-۲

t(s)		۱	۲	۳	۴	۵
x(m)		-۱		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 ۱-۲



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 $t = 0$ s تا لحظه $t = 8$ s.

ب) از لحظه $t = 12$ s تا لحظه $t = 14$ s.

پ) در بازه‌های زمانی 8 s تا 12 s و 14 s تا 18 s.

ت) در لحظه‌های 6 s و 13 s.

ث) در بازه زمانی 8 s تا 12 s.

ج) $\Delta x = x - x_0 = 40 - 20 = 20$ cm

مثال ۲-۲

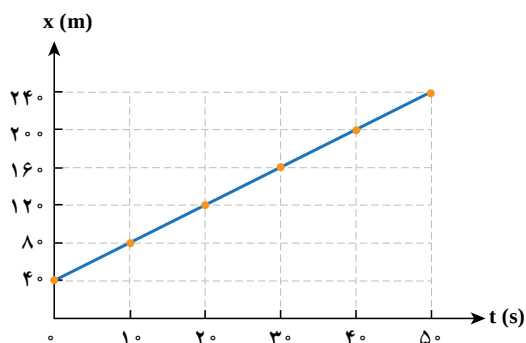


رابطه بین مکان و زمان برای دوچرخه‌سواری که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند، از لحظه $t = 0$ s تا لحظه $t = 60$ s به صورت $x = 4t$ است که در آن، x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است. الف) نمودار مکان - زمان دوچرخه‌سوار را در بازه زمانی 0 s تا 5 s رسم کنید.

ب) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازه زمانی 0 s تا 60 s را به دست آورید.

پاسخ:

الف) برای رسم نمودار، مکان دوچرخه‌سوار را در چند لحظه، از جمله در $t = 0$ s (لحظه صفر، لحظه شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم)، $t = 1$ s، ... و $t = 5$ s به دست می‌آوریم و با استفاده از نقطه‌های به دست آمده خطی که از این نقطه‌ها می‌گذرد را رسم می‌کنیم.



t(s)	x(m)
	4
1	8
2	12
3	16
4	20
5	24

چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن، داشتن دو نقطه کافی است، با معلوم کردن مکان در دو لحظه $t = 0$ s و $t = 5$ s نیز می‌توان نمودار را رسم نمود.

ب)

$$\left. \begin{aligned} t_i = 0 \text{ s} &\Rightarrow x_i = 40 \text{ m} \\ t_f = 60 \text{ s} &\Rightarrow x_f = 4 \times 60 + 40 = 244 \text{ m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta x = x_f - x_i = 244 - 40 = +204 \text{ m}$$

۲-۲ سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای

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



شکل ۲-۸ مکان خودرو در دو لحظه متفاوت

این خودرو از لحظه $t = 0$ تا لحظه $t = 6$ s به اندازه 1200 m (500) 700 x جابه‌جا شده است، یعنی به طور 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 به صورت زیر نشان می‌دهند.

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

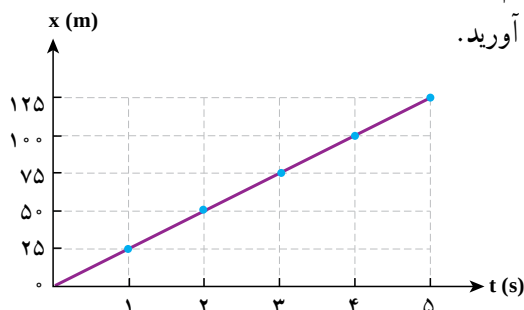
جابه‌جایی را با Δx ، زمان جابه‌جایی را با Δt و سرعت متوسط را با $\bar{v}$ نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۲-۲ را به صورت زیر بنویسیم.

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

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

مثال ۲-۳

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



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

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

(ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های

زمانی مختلف، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5^\circ - 0^\circ}{2 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۱)}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10^\circ - 0^\circ}{4 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۲)}$$

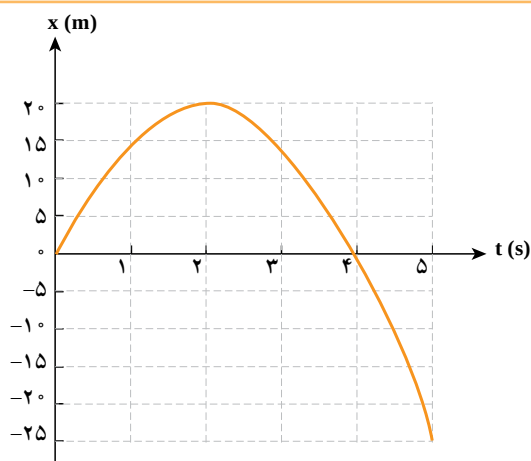
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10^\circ - 5^\circ}{4 - 2} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۳)}$$

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

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

ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند الف، در می‌یابیم 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 $t=0$ تا $t=2$		
از $t=0$ تا $t=4$		
از $t=2$ تا $t=4$		
از $t=2$ تا $t=5$		
از $t=3$ تا $t=5$		

بازه زمانی	$\Delta x(\text{m})$	$\bar{v}(\text{m/s})$
از $t=0$ تا $t=2$	+۲	+۱
از $t=0$ تا $t=4$		
از $t=2$ تا $t=4$	-۲	-۱
از $t=2$ تا $t=5$	-۴۵	-۱۵
از $t=3$ تا $t=5$	-۴	-۲

(ب) در بازه t_3 تا t_5 ، اندازه سرعت متوسط پیشینه، و در بازه t_4 تا t_5 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 سرعت‌سنج 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.

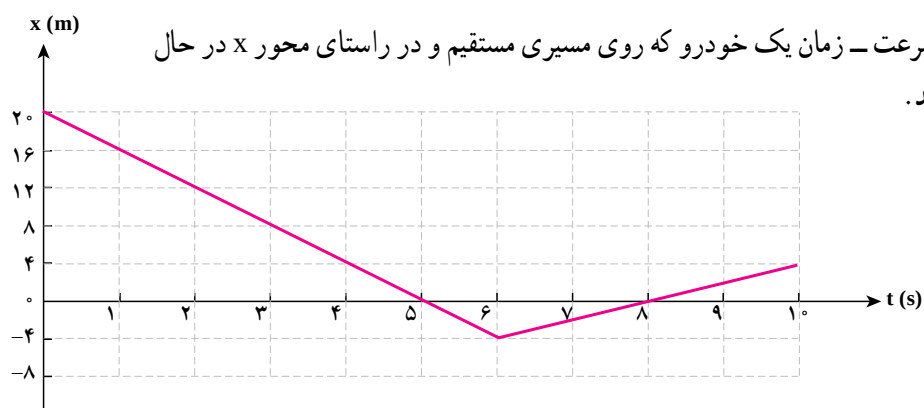
سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم و آن را با v نشان می‌دهیم. یکای سرعت لحظه‌ای در SI، متر بر ثانیه (m/s) است. جدول ۲-۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.



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

جدول ۲-۱- برخی از سرعت‌های تقریبی

1 m/s	سرعت حلزون
2 m/s	راه رفتن سریع
1 m/s	دویده دوی سرعت
3 m/s	سرعت پیشینه خودرو در بزرگراه
5 m/s	حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا
1 m/s	سریع‌ترین هواپیما
3 m/s	ماهواره مخابراتی در مدار
83 m/s	سرعت فضایی خاص
$2/98 \times 10^6 \text{ m/s}$	سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^6 \text{ m/s}$	سرعت دنباله‌دار هالی
$2 \times 10^6 \text{ m/s}$	سرعت الکترون در حرکت مداری
$3 \times 10^8 \text{ m/s}$	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 $t_1 = 2\text{ s}$ ، $t_2 = 6\text{ s}$ ، $t_3 = 7\text{ s}$ ، $t_4 = 10\text{ s}$ تعیین کنید.
 (ج) در بازه‌ی زمانی $t = 0\text{ s}$ تا $t = 10\text{ s}$ تغییر سرعت خودرو را به دست آورید.

پاسخ:

- (الف) در بازه‌ی زمانی 0 s تا 5 s و همچنین 8 s تا 10 s .
 (ب) در بازه‌ی زمانی 5 s تا 8 s .
 (پ) در لحظه‌های 5 s و 8 s .
 (ت) در لحظه‌های 5 s و 8 s .
 (ث) $t_2 = 6\text{ s} \Rightarrow v_2 = 4\text{ m/s}$
 $t_4 = 10\text{ s} \Rightarrow v_4 = 4\text{ m/s}$
 $t_1 = 2\text{ s} \Rightarrow v_1 = 12\text{ m/s}$
 $t_3 = 7\text{ s} \Rightarrow v_3 = 2\text{ m/s}$
 (ج)
- $$\left. \begin{array}{l} t_i = 0\text{ s} \Rightarrow v_i = +20\text{ m/s} \\ t_f = 10\text{ s} \Rightarrow v_f = +4\text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta v = v_f - v_i = 4 - 20 = -16\text{ m/s}$$

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)	۱	۲	۳	۴	۵
v(m/s)	۷/۷	۱/۲	۱/۵	۱/۶	۱/۵

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

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

از رابطه ۴-۲ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v \Delta t \quad (۵-۲)$$

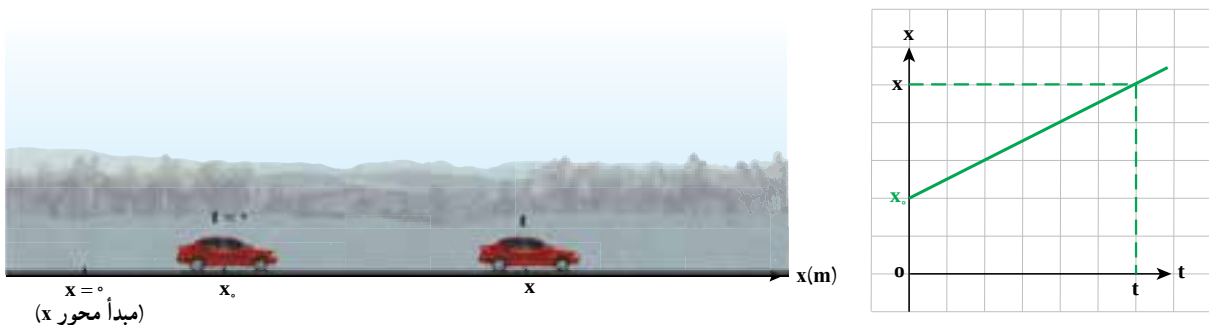
اگر متحرک در لحظه t_0 در مکان x_0 و در لحظه t در مکان x باشد:

$$x - x_0 = v(t - t_0)$$

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، (m/s)، t برحسب ثانیه (s) و 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 ۲-۱- نمودار مکان-زمان در حرکت با سرعت ثابت با فرض مثبت بودن x و v

مثال ۲-۴

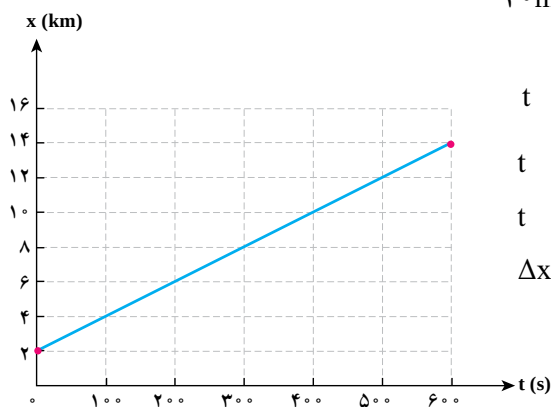
معادله حرکت قطاری که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، در SI به صورت $x = ۲۰۰۰ + ۲۰t$ است. (مبدأ مختصات، ایستگاه در نظر گرفته شده است).
الف) سرعت قطار چند متر بر ثانیه و چند کیلومتر بر ساعت است؟

- (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 در بازه زمانی $t = 0$ s تا $t = 600$ s رسم کنید.

پاسخ:

(الف) با مقایسه معادله حرکت قطار با رابطه $x = vt$ معلوم می شود که سرعت قطار 20 m/s است.

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



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

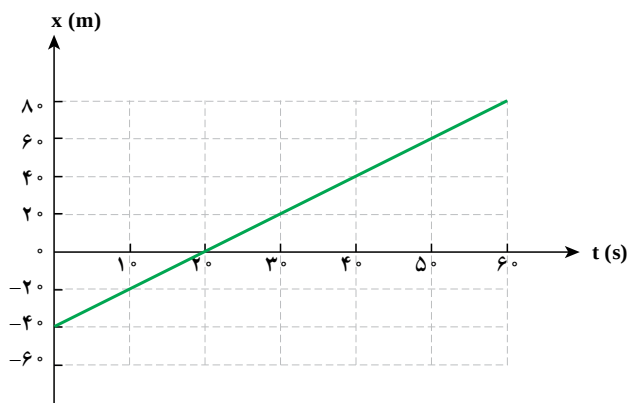
$t = 100 \text{ s} \rightarrow x = 20 \times 100 = 2000 = 4000 \text{ m} = 4 \text{ km}$

$t = 500 \text{ s} \rightarrow x = 20 \times 500 = 2000 + 12000 \text{ m} = 14 \text{ km}$

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

(ت)

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 فاصله 20 متری مبدأ است؟

پاسخ:

(الف)

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

(ب)

$t = 0 \text{ s} \rightarrow x = 40 \text{ m}$

(پ)

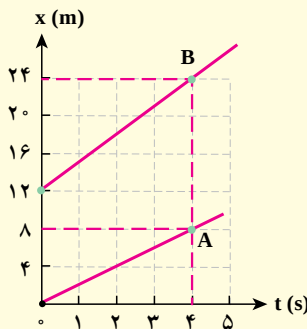
$\Delta x = v \cdot \Delta t = 2 \times (5 \times 60) = 600 \text{ m}$

(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 ۵s در مکان x_1 ۶m و در لحظه t_2 ۲۰s در مکان x_2 ۳۶m 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 سرعت‌سنج خودرو ملاحظه می‌شود که سرعت آن به تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام ترمز کردن سرعت آن به تدریج کاهش می‌یابد. در این موارد که سرعت 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:

تغییر سرعت	(۷-۲)
شتاب متوسط	زمان تغییر سرعت

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 شتاب ها واکنش نشان می دهد اما به سرعت ها 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:

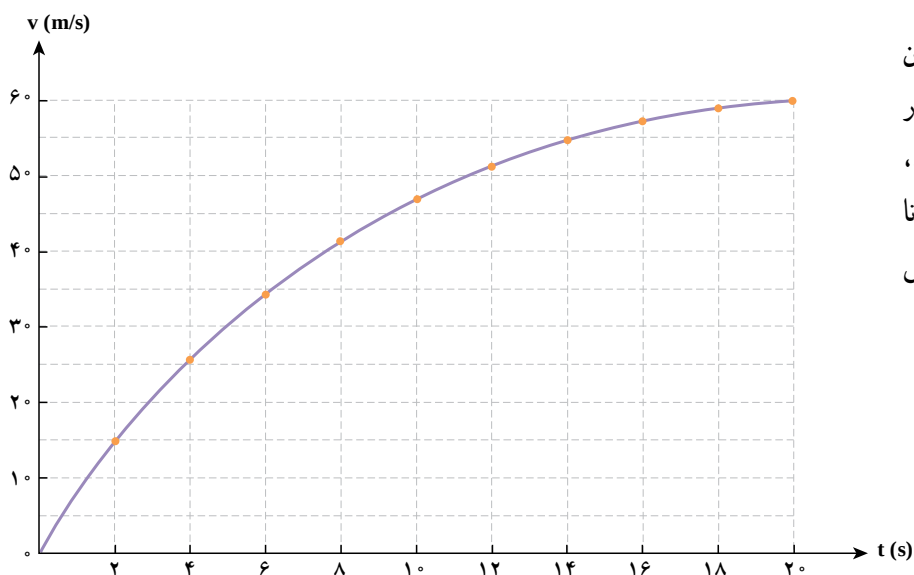
مثال ۹-۲

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؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{3 - 0}{0.13} = 23.1 \text{ m/s}^2$$

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 هریک از بازه‌های زمانی زیر حساب کنید.

$$۱- t_1 \text{ تا } t_2 \text{ s}$$

$$۲- t_2 \text{ تا } t_3 \text{ s}$$

$$۳- t_3 \text{ تا } t_4 \text{ s}$$

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

پاسخ:

$$۱- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15 - 0}{2 - 0} = +7.5 \text{ m/s}^2$$

$$۲- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55 - 25}{14 - 4} = +3 \text{ m/s}^2$$

$$۳- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{60 - 55}{20 - 14} = +0.8 \text{ m/s}^2$$

ب) در بازه‌های زمانی بند الف، در بازه زمانی t_1 تا t_2 s، شتاب متوسط بیشینه، و در بازه زمانی t_2 تا t_3 s، شتاب متوسط کمینه است.

مثال ۲-۱۱

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

الف) نمودار سرعت - زمان موتورسوار در بازه زمانی t_1 تا t_2 s را بکشید.

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

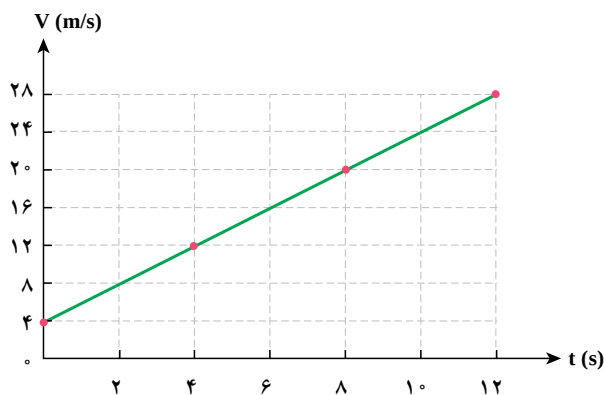
$$۱- t_1 \text{ تا } t_2 \text{ s}$$

$$۲- t_2 \text{ تا } t_3 \text{ s}$$

$$۳- t_3 \text{ تا } t_4 \text{ s}$$

پ) شتاب متوسط‌های به‌دست 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 ، t_2 ، t_3 و t_4 را با استفاده از رابطه بین سرعت و زمان به‌دست می‌آوریم، سپس با استفاده از نقاط به‌دست آمده، نمودار سرعت - زمان را می‌کشیم.

t(s)		۴	۸	۱۲
v(m/s)	۴	۱۲	۲۰	۲۸

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

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

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

پ) از مقایسه شتاب متوسط‌های به‌دست 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

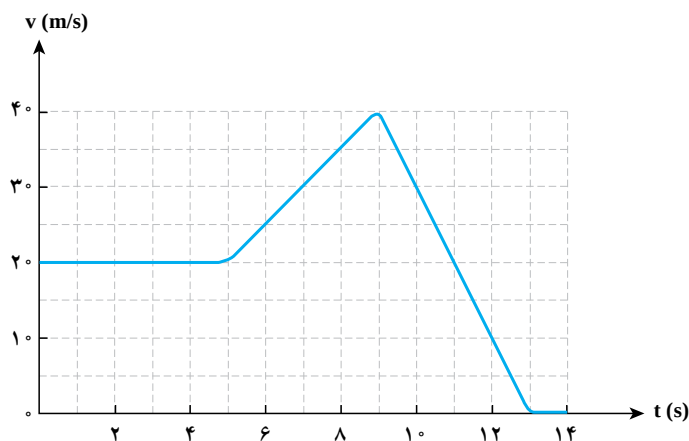
از مسیر را شتاب لحظه‌ای می‌گویند.

در حالت‌هایی مانند مثال ۱۱-۲ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است، اما در حالت‌هایی مانند مثال ۱۰-۲ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت است، شتاب لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم شتاب لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم. شتاب لحظه‌ای را پس از این برای سادگی شتاب می‌نامیم که به معنی شتاب جسم در یک لحظه مشخص است. شتاب لحظه‌ای را با a نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، متر بر 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 1 km/h با دیوار)
$3/2 \times 10^1 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) چترباز در لحظه باز شدن چتر
$2/7 \times 10^1 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح خورشید
$1/5 \times 10^1 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) پرتاب 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 ۱۳-۲



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

الف) $t = 2 \text{ s}$

ب) $t = 7 \text{ s}$

پ) $t = 10 \text{ s}$

پاسخ:

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

(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:

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

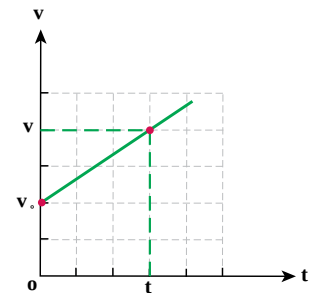
اگر در رابطه (۹-۲) $t_i = 0$ و $t_f = t$ باشد در این صورت v سرعت در لحظه صفر با نماد v_0 و v سرعت در لحظه t با نماد v است و می‌توان نوشت:

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

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

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 و a



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:

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

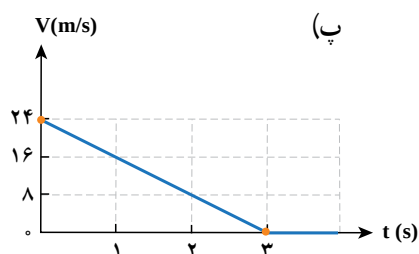
$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{0 + 20}{2} = 10 \text{ m/s} \quad (\text{ب})$$

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

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:



الف) v at v_0

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow -8 = \frac{0 - 24}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 3 \text{ s}$$

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

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

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 به ترتیب سرعت در لحظه t و سرعت در لحظه t_0 است. اگر متحرک در لحظه t_0 در مکان x_0 و دارای سرعت v_0 باشد و در لحظه t در مکان x و دارای سرعت v باشد، داریم:

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

و بنا به رابطه ۲-۱۰

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

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (۲-۱۳)$$

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:

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

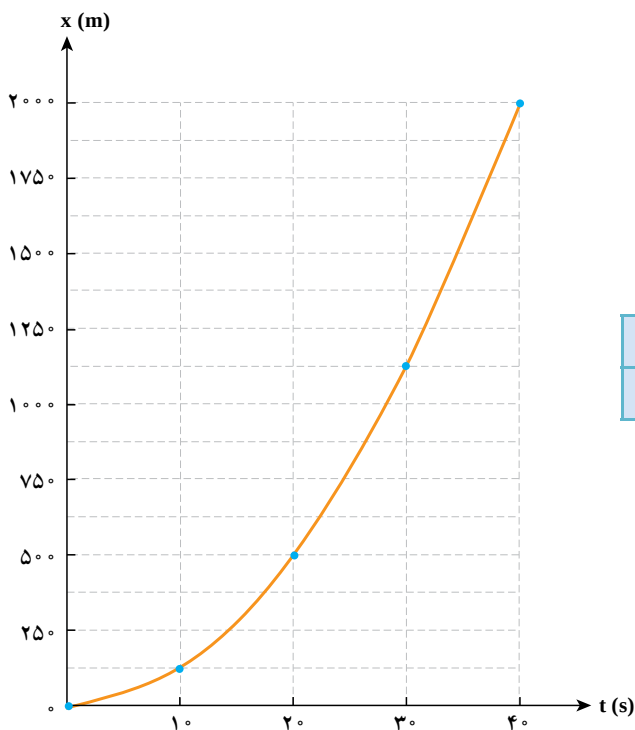
(الف)

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2/5 \times 40^2 + 0 = 2400 \text{ m} \quad (\text{ب})$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (\text{پ}) \text{ با استفاده از معادله}$$

و با در نظر گرفتن $x_0 = 0$ ، مکان هواپیما را در چند

لحظه متفاوت پیدا می کنیم.



t(s)		۱	۲	۳	۴
x(m)		۱۲۵	۵	۱۱۲۵	۲

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

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

فعالیت ۱-۲

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

مثال ۱۴-۲

در یک آزمایش تصادف، خودرویی با سرعت ۵۴ km/h با دیواری ثابت و محکم برخورد می‌کند. پس از این که قسمت جلوی خودرو ۰/۴ 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)

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

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

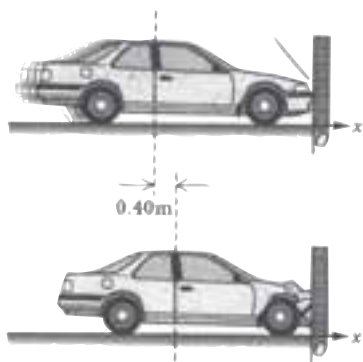
$$0 - 15^2 = 2a \times 0.4 \Rightarrow a = -28.125 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

ب)

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

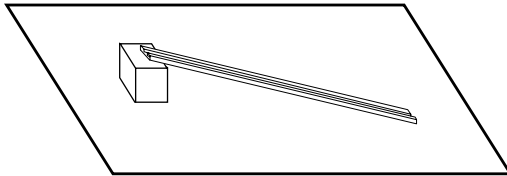
توجه داشته باشید که در چنین تصادفی، سرنشین خودرو، به شدت آسیب می‌بیند مگر اینکه کمربند ایمنی یا کیسه هوا او را نگه دارد.



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 ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر بالاتر باشد.

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

۳- فاصله ۱/۰۰ m از محل قرار گرفتن اولیه گلوله را علامت بزنید.

۴- گلوله را رها کنید تا مسافت موردنظر را طی کند و زمان آن را اندازه بگیرید. برای کم کردن خطای آزمایش این اندازه‌گیری را چندبار تکرار و مقدارهای به دست آمده را میانگین‌گیری کنید.

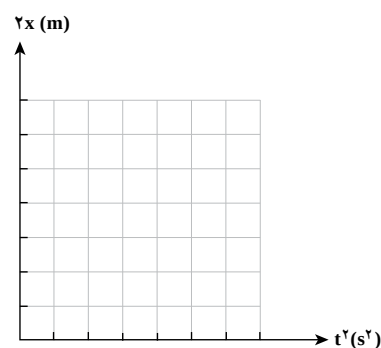
۵- اندازه‌گیری زمان حرکت را برای طول راه‌های بعدی مطابق جدول انجام دهید و نتایج را در جدول ثبت کنید.

توجه: در اجرای این آزمایش می‌توانید انتهای میله را مماس بر دیوار یا یک مانع سخت قرار دهید و آن‌گاه نقطه شروع حرکت را روی میله و در فاصله ۱/۰۰ m، ۱/۲۰ 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	۱/		
۲	۱/۲		
۳	۱/۴		
۴	۱/۶		
۵	۱/۸		
۶	۲/		



ابن سینا

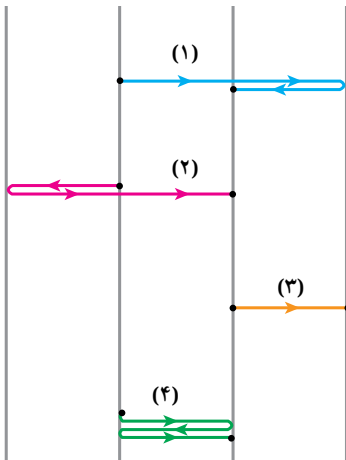
ابوعلی حسین بن عبدالله، ملقب به ابن سینا که در غرب به آوی سینا معروف است در سال ۳۵۹ هجری شمسی در آفشنه در نزدیکی بخارا به دنیا آمد و در سال ۴۱۶ هجری شمسی در همدان درگذشت. ابن سینا که از کودکی هوشی سرشار داشت، به سرعت علوم زمان خود را فرا گرفت و در ۱۶ سالگی شروع به طبابت کرد. ابن سینا در فنون مختلف و متنوع تألیفات زیادی دارد و آثار او بالغ بر ۲۷۰ عنوان می‌شود. گرچه مهم‌ترین آثار او اثر فلسفی **شفا** و کتاب دایرة المعارف **گونه قانون** در پزشکی است، اما او در علوم و فنون زمانه خود نیز دستی بر آتش داشته است. کتاب **معیار العقول** یکی از کتاب‌های منتسب به ابن سینا است که مباحث آن به فن طراحی و ساخت جرثقال‌ها 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 جرثقال‌ها هستند و سپس به خود جرثقال پرداخته می‌شود. البته سوای این مطالب، ابن سینا در بخش طبیعیات کتاب‌های مهم خود مانند **شفا**، **اشارات و تنبیهات** و **دانشنامه 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.

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

الف) $v = 3 \text{ m/s}$ ب) $v = 4t^2 + 2t + 6$

پ) $v = 3t + 4$ ت) $v = \frac{1}{2}t^2 + 5t$

ث) $v = -\frac{5}{3}t + 8$



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

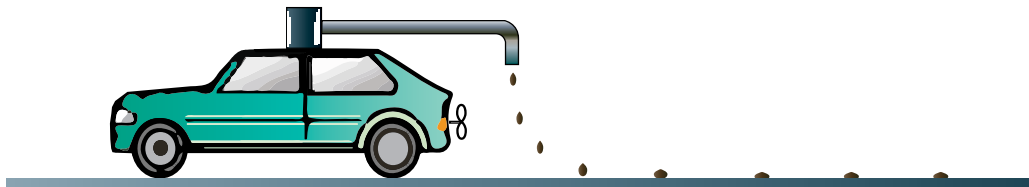
الف) اندازه سرعت متوسط متحرک در این چهار مسیر را با هم مقایسه کنید.

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 چکه 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.



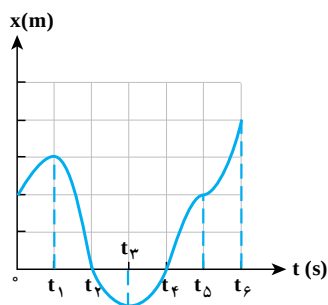
۴ شکل زیر مربوط به یک مسابقه دو ۱۰۰ متر است.



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

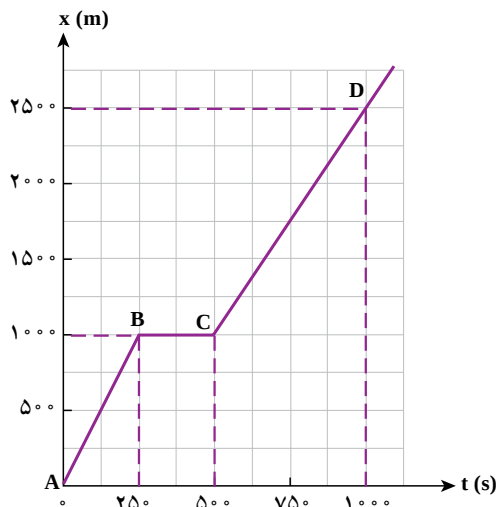
t(s)		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲/۵
x(m)		۱	۵	۱۱	۱۹	۲۹	۳۸	۴۸	۵۸	۶۷	۷۷	۸۶	۹۵	۱۰۰

نمودار مکان - زمان دونه را رسم کنید.



- 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، دوندۀ سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟
- ب) بین کدام دو نقطه، دوندۀ ایستاده است؟
- پ) سرعت دوندۀ را بین دو نقطه A و B از نمودار حساب کنید.
- ت) سرعت دوندۀ را بین دو نقطه C و D حساب کنید.
- ث) سرعت متوسط دوندۀ را در بازۀ زمانی t_1 تا t_2 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 معادلۀ 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 $1s$ در چه مکانی قرار دارد؟
- پ) جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه $1s$ و $5s$ چقدر است؟

۴ رانندۀ ای 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 20° ثانیه، روی یک مسیر مستقیم از 10 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 به 108 کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

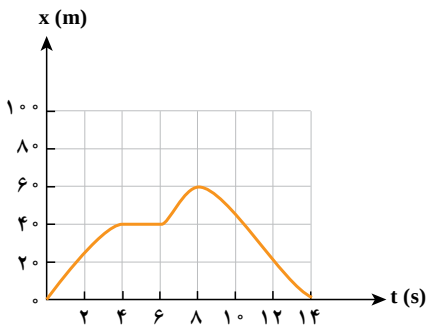
۶) سرعت فضایی 30° ثانیه پس از شروع حرکت به 120 km/h می‌رسد. شتاب متوسط آن در این مدت چقدر است؟ این شتاب

چند برابر $9/8 \text{ m/s}^2$ 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 دوچرخه‌سواری است که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است.

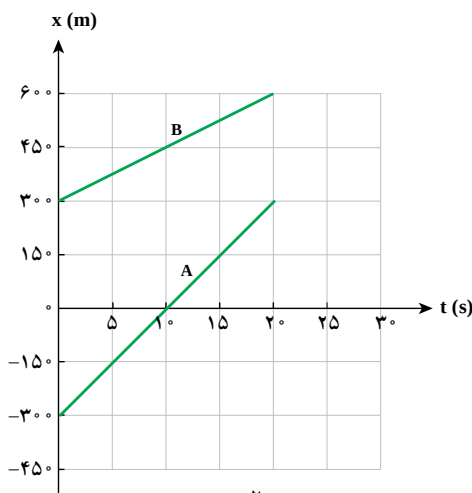
الف) در چه لحظه‌ای دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

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

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

ت) در چه بازه زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

ث) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟



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

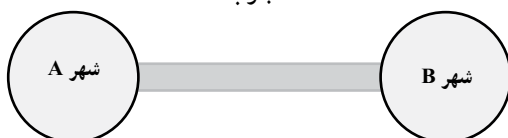
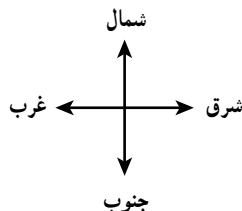
خط راست حرکت می‌کنند.

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

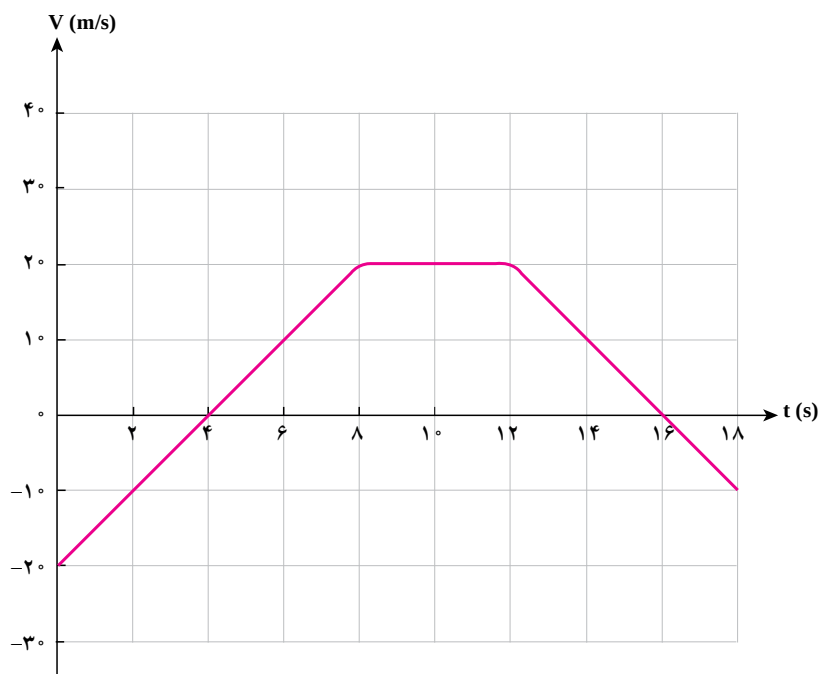
شهر B در حال حرکت است. اگر سرعت موتورسوار در $t_1 = 15^\circ \text{ s}$ ،

18 km/h و در $t_2 = 17^\circ \text{ s}$ باشد، 90 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_2 و t_3 چقدر و در چه جهتی است؟



۱۱ شکل رویه‌رو نمودار سرعت - زمان
موتورسواری است که روی یک مسیر
مستقیم و در راستای محور x در حرکت
است.

الف) در چه بازه زمانی موتورسوار در
جهت مثبت محور x حرکت می‌کند؟

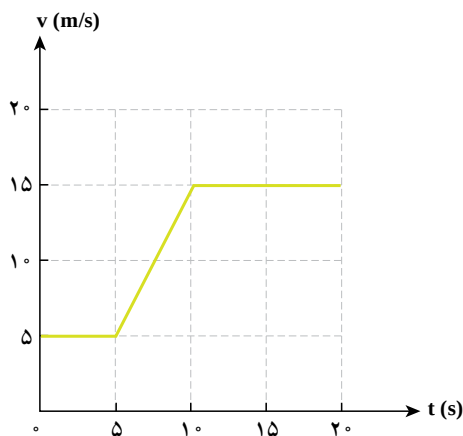
ب) در چه بازه زمانی، موتورسوار در
خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در چه بازه زمانی، موتورسوار با سرعت
ثابت حرکت کرده است؟

ت) در چه لحظه‌هایی جهت حرکت
موتورسوار تغییر کرده است؟

ث) سرعت موتورسوار در لحظه‌های $t = 2s$
و $t = 4s$ و $t = 14s$ و $t = 18s$
را تعیین کنید.

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



۱۲ شکل رویه‌رو نمودار سرعت - زمان خودرویی را نشان می‌دهد که از حال
سکون، روی مسیری مستقیم شروع به حرکت می‌کند.

الف) شتاب در لحظه‌های $t = 3s$ ، $t = 8s$ ، $t = 10s$ و $t = 15s$ را به دست آورید.

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

پ) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_1 = 6s$ تا $t_2 = 11s$ و $t_1 = 15s$ تا
 $t_2 = 20s$ را به دست آورید.

ت) خودرو در هریک از بازه‌های زمانی $t_1 = 6s$ تا $t_2 = 11s$ و $t_1 = 11s$ تا
 $t_2 = 20s$ چقدر جابه‌جا شده است؟

۱۳ خودرویی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از 20 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 لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف خودرو رسم کنید.

۱۴ متحرکی روی محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. سرعت متحرک در مکان $x = ۱۰\text{ m}$ ، ۴ m/s و در مکان $x = ۱۹\text{ m}$ است. ۱۸ km/h است.

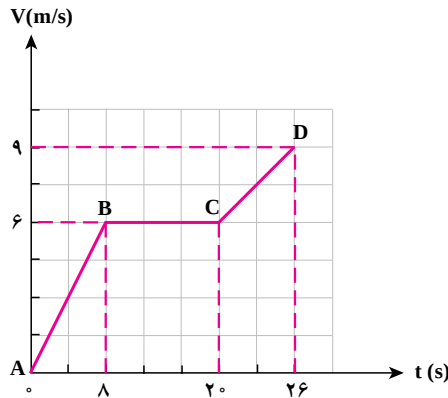
الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) رسیدن از سرعت ۴ m/s به سرعت ۱۸ km/h چه مدتی طول می کشد؟

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

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

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

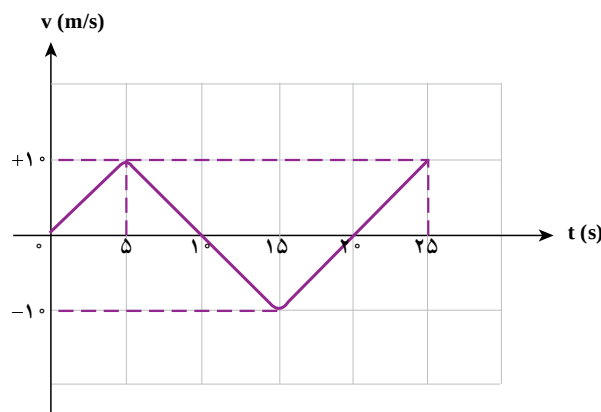


۱۶ سرب یک دارکوب در حین نخستین تماس منقار آن با تنه درخت، با سرعت $۷/۴۹\text{ m/s}$ روبه جلو حرکت می کند. منقار دارکوب پس از سوراخ کردن تنه درخت و فرو رفتن در آن به اندازه $۱/۸۷\text{ mm}$ ، متوقف می شود. با فرض آنکه در این حرکت شتاب ثابت باشد، بزرگی شتاب را به دست آورید.

۱۷ سرب یک مار زنگی در حین ضربه زدن به یک طعمه می تواند ۵ m/s^2 شتاب بگیرد. اگر یک خودرو می توانست چنین شتابی داشته باشد، چقدر طول می کشید تا از حال سکون به سرعت ۱۰۰ km/h برسد؟

۱۸ یک دونده در $۰/۷۵$ ثانیه اول مسابقه، شتاب ۸ m/s^2 می گیرد. الف) سرعت دونده را در پایان $۰/۷۵\text{ s}$ اول محاسبه کنید. ب) اکنون فرض کنید دونده تا آخر مسابقه با سرعت ۶ m/s به دویدن ادامه دهد و پس از عبور از خط پایان حرکتش را با شتاب ثابت کند. اگر اندازه شتاب منفی دونده پس از عبور از خط پایان، ۲ m/s^2 باشد، پس از عبور از خط پایان چقدر طول می کشد تا دونده متوقف شود؟ و در این مدت چه مسافتی را طی می کند؟

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



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



ماهی‌گیران در سواحل فلیج 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.

۱-۳ نیرو

در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را 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 ۱-۳

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



ت



ب



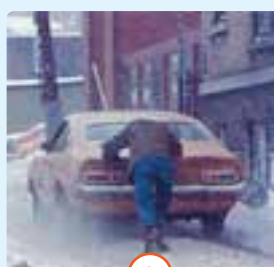
ب



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 آهن‌ربا، 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 برهم‌کش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.

۳- تأثیر دو جسم بر هم ممکن است ناشی از تماس دو جسم باشد و یا دو جسم از راه دور بر یکدیگر نیرو وارد کنند.

نیرو 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 بزرگ‌تری به توپ آن را با سرعت بیشتری به سوی دروازه شوت کنیم. از طرف دیگر برای آنکه توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانه دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند.

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



شکل ۱-۳ نمونه‌هایی از چند نیروسنج

۲-۳ قانون‌های نیوتون درباره حرکت

در بخش‌های قبل دیدیم که نیرو عامل تغییر سرعت در اجسام است. نیوتون، دانشمند انگلیسی، با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود موفق شد قانون‌های حرکت را که امروزه به نام خود او «قانون‌های نیوتون درباره حرکت» نام دارد، در کتاب اصول خود بیان کند. این قانون‌ها به شرح زیر هستند.

قانون اول نیوتون: پیشینیان گالیله معتقد بودند که جسم 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 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: از قانون اول نیوتون نتیجه می‌شود که اگر بر جسم نیرو وارد شود، نه تنها جسم ساکن نمی‌ماند، بلکه حرکتش شتاب‌دار نیز خواهد بود. 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 برابری 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 برابری نیروهای وارد به آن $\vec{F}_{\text{بر بند}}$ باشد، قانون دوم نیوتون با رابطه زیر بیان می‌شود:

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

و یا

$$\vec{F}_{\text{بر بند}} = ma$$

(۱-۳)

یکای نیرو در SI نیوتون (N) است که از رابطه (۱-۳) تعریف می‌شود. اگر در این رابطه جرم بر حسب کیلوگرم (kg) و شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) قرار داده شود، نیرو بر حسب $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 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 2 N در جهت محور x قرار دارد. شتاب جسم چقدر و در چه جهتی است؟

پاسخ: بزرگی شتاب برابر است با:

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

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:

$$a = \frac{F_{\text{بر بند}}}{m}$$

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

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

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_{12} (نیروی که جسم اول به جسم دوم وارد می کند) و F_{21} (نیروی که جسم دوم به جسم اول وارد می کند) و واکنش (عمل و عکس العمل) هستند.

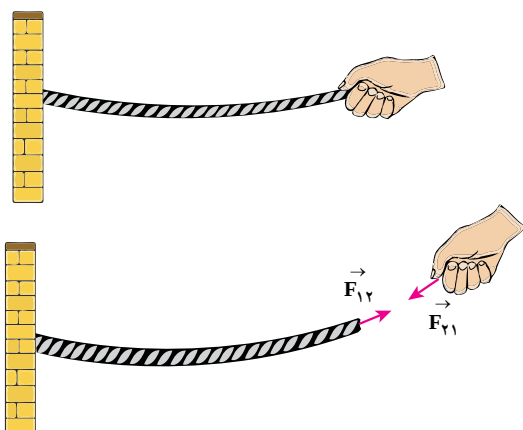
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21}$$



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.

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

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.»

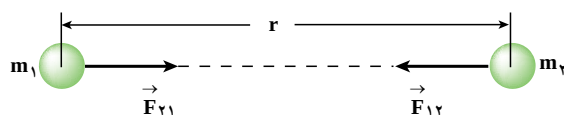
اگر جرم دو ذره m_1 و m_2 و فاصله میان آنها مطابق شکل (۳-۳) برابر r باشد، اندازه نیروی گرانشی میان دو ذره (F) از رابطه ۳-۲ به دست می‌آید:

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

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (۲-۳)$$

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 جرم های m_1 و m_2 بر هم نیروی گرانشی وارد می‌کنند

مثال ۳-۴

دو جسم به جرم های 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.

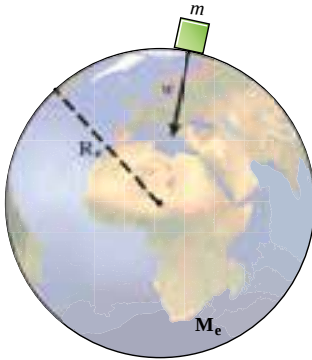
تمرین ۳-۲

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:

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

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



می‌دانیم نیروی 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.

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

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

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

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

مثال ۳-۵

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

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

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 ۳-۴

- تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی، G ، نخستین بار توسط چه کسی اندازه‌گیری شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.
- شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

نیروی عمودی سطح: جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل (۵-۳) روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر m باشد، نیروی وزن $W = mg$ را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به سوی پایین می‌کشد. چرا جسم 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 (۵-۳) این نیرو از سطح میز به جسم وارد می‌شود. در شکل (۶-۳) 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:

$$F_{\text{بر پند}} = ma = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

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 ۷-۳) و نیروی برآیندی روبه بالا به جسم وارد می‌کنند که همان نیروی عمودی سطح است.

اکنون فرض کنید مطابق شکل (۸-۳) نیرویی به اندازه F را به‌طور 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.

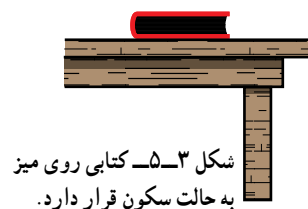
نیروهای وارد بر جسم را در شکل (۹-۳) نشان داده‌ایم. چون شتاب جسم صفر است بنا به قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_{\text{بر پند}} = ma = 0$$

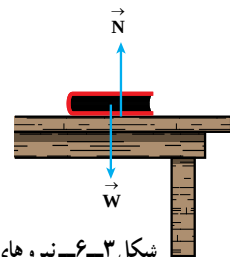
$$N - F - W = 0$$

$$N = F + W$$

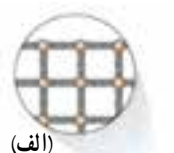
بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.



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



شکل ۶-۳: نیروهای $\vec{N}$ و $\vec{W}$ بر کتاب وارد می‌شوند.

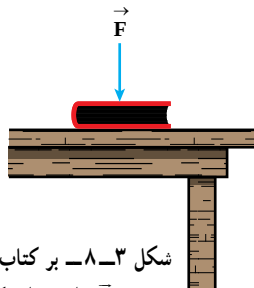


(الف)

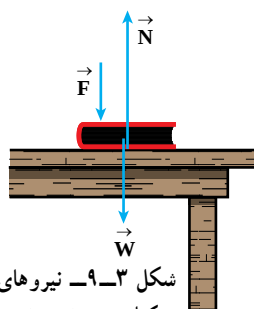


(ب)

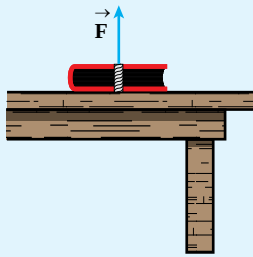
شکل ۷-۳: نیروی بین مولکول‌های سطح میز با فنرهایی شبیه‌سازی شده است. با قرار گرفتن کتاب، فنرها فشرده شده‌اند.



شکل ۸-۳: بر کتاب، نیروی خارجی $\vec{F}$ را نیز وارد کرده‌ایم.



شکل ۹-۳: نیروهای وارد بر کتاب در حضور نیروی $\vec{F}$



فرض کنید مطابق شکل، طنابی را به دور یک جسم بسته‌ایم و آن را با نیروی 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.



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؟

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.

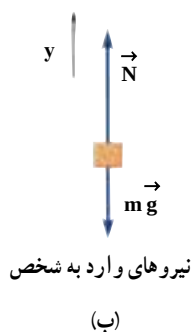
پاسخ:

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

$$\begin{aligned}
 a &= 0 \\
 N &= W \\
 N &= mg \\
 N &= 50 \times 10 = 500\text{ N}
 \end{aligned}$$



(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.

$$F_{\text{بریند}} = ma$$

$$N - W = ma$$

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

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

تمرین ۳-۳

در مثال ۳-۶ فرض کنید آسانسوری که به طرف بالا در حرکت است با رسیدن به طبقه موردنظر 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

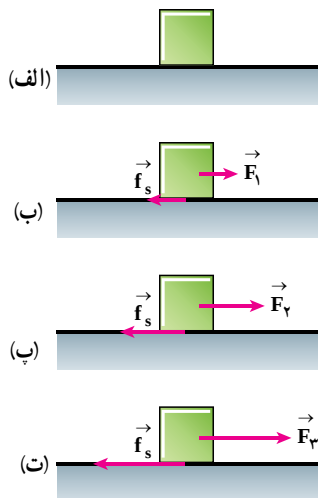
که روی سطح افقی ساکن است باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند. بنابراین باید نیرویی در خلاف جهت نیرویی که به صندوق وارد کرده‌اید، به آن وارد شده باشد. این نیرو را **نیروی اصطکاک ایستایی** می‌نامیم.

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 f_s از



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.

$$F_{\text{برند}} = ma$$

$$F_{\text{ا}} = f_s$$

$$f_s = F_{\text{ا}}$$

اکنون فرض کنید اندازه نیروی $F_{\text{ا}}$ را افزایش داده و به اندازه $F_{\text{ا}}$ 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 $F_{\text{ا}}$ شده است. بنابراین با افزایش نیروی $F_{\text{ا}}$ نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی $F_{\text{ا}}$ به حالتی می‌رسیم که اگر اندازه آن برابر $F_{\text{ا}}$ شود، جسم در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازه نیروی $F_{\text{ا}}$ از مقدار $F_{\text{ا}}$ 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. 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 نیروی عمودی سطح (N) متناسب است. بنابراین از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در این حالت، $F_{\text{ا}} = f_{s \text{ max}}$ است.

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

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

$$f_s \leq \mu_s N \quad (۳-۷)$$

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 اندازه گیری 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:

ما لغزد (مانند اسکی باز 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- اسکی باز بر سطح برف می‌لغزد.

$$f_k = \mu_k N$$

(۳-۸)

جدول ۳-۱- ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی

ماده	μ_k	μ_s
فولاد بر فولاد	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$
فولاد بر سرب	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
فولاد بر مس	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
مس بر چدن	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{11}$
مس بر نیشه	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$
چوب اسکی موم اندود شده بر برف در C-۱	$\frac{1}{2}$	—
چوب اسکی موم اندود شده بر برف در C	$\frac{1}{5}$	—
لاستیک بر بتون	≈ 1	≈ 1

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 به طور 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 $\frac{1}{4}$ باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد به کمد چقدر است؟

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

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow f_k = \frac{1}{4} \times 750 = f_k = 187.5 \text{ N}$$

مثال ۳-۸

در مثال ۳-۷ اگر شخص کمد را با نیروی $F = 330\text{ N}$ 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:

$$F_{\text{بر بند}} = 330 - 300 = 30\text{ N}$$

$$F_{\text{بر بند}} = ma \Rightarrow 30 = 75a$$

و در نتیجه

$$a = \frac{30}{75} = 0.4\text{ m/s}^2$$

نیروی کشسانی فنر: با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می‌دانید که اگر یک سر فنری را

به نقطه‌ای محکم کنید و سر دیگر آن را بکشید، طول فنر افزایش می‌یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را

افزایش دهید افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

آزمایش ۳-۲

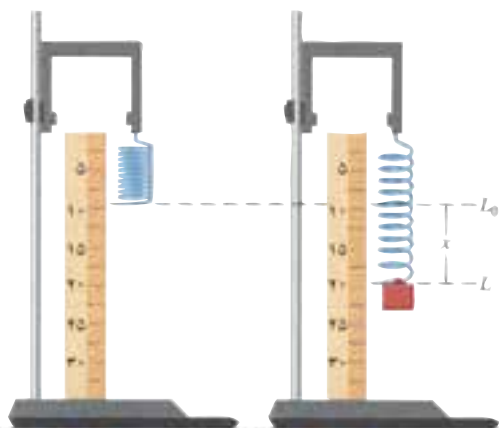
وسایل لازم: فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت،

خط کش

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 هم‌اندازه 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:

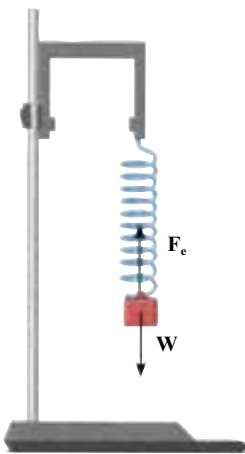
$$F_e = kx \quad (۹-۳)$$

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 5 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:

$$F_{\text{بند}} = ma$$

$$F_e = W$$

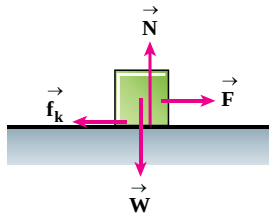
$$kx = mg$$

$$5 \times x = 0.2 \times 10$$

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

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

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



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:

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

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

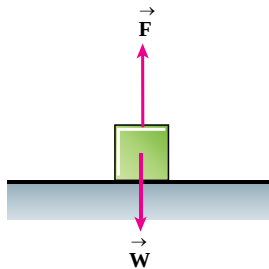
قانون دوم نیوتون را برای نیروهای وارد بر جسم در راستای افقی به کار می‌بریم:

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

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.



$$F_{\text{برند}} - ma$$

$$F - W = ma$$

$$25 - 20 = 2a$$

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

مثال ۱۲-۳

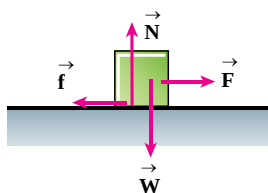
جسمی روی سطح افقی با نیروی افقی $10/8 \text{ N}$ کشیده می‌شود. سرعت جسم در مدت 5 s با شتاب ثابت از 4 m/s به 10 m/s می‌رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. **پاسخ:** چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطه $v = v_0 + at$ استفاده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = v_0 + at$$

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

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

نیروهای وارد بر جسم در شکل نشان داده شده است.



$$N - W = 0$$

$$F_{\text{برند}} - ma$$

$$F - f_k = ma$$

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

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

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 الاشكال البسيطة** و **الکریه** در هندسه، **رؤية الهلال** و **الدرجات فی طبایع البروج** در نجوم اشاره کرد.

۱) کمربند 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 گندشده 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،

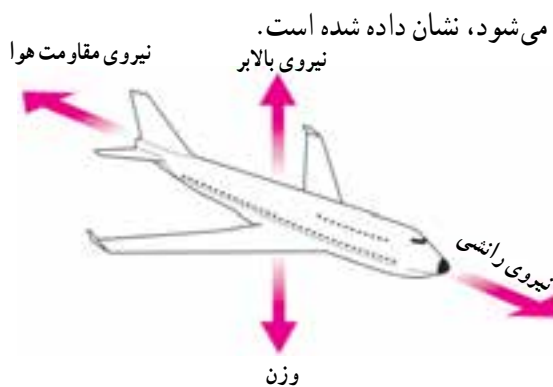
پ) قایقی ساکن بر آب یک دریاچه،

۴) در شکل روبه رو چهار نیرویی که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد می شود، نشان داده شده است. 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 روبه جلو و روبه بالا دارد.

پ) هواپیما شتاب روبه عقب و روبه 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.

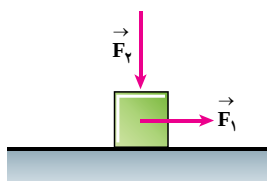
۶) آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگ تر از g رو به پایین حرکت کند؟ توضیح دهید.

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.



۹) در شکل روبه رو، نیروی $\vec{F}_1$ به بزرگی 10 N بر جعبه ای واقع بر کف زمین وارد می شود. ولی جعبه نمی لغزد. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم $\vec{F}_y$ که جعبه را به سطح زمین می فشارد از صفر

شروع به افزایش کند، الف) کمیت های زیر افزایش می یابند یا کاهش می یابند؟

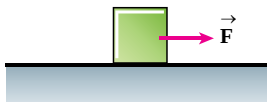
I) بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی f_s وارد بر جعبه

II) بزرگی نیروی عمودی سطح N وارد بر جعبه

III) مقدار بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

ب) آیا جعبه سرانجام خواهد لغزید؟

- ۱ دونه‌ای به جرم 6°kg با شتاب 5 m/s^2 شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.
الف) اندازه نیرویی را حساب کنید 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 خودروی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت 100 m با شتاب ثابت، سرعتش به 20 m/s می‌رسد. برآیند نیروهای وارد بر خودرو را در این حرکت محاسبه کنید.
- ۴ خودروی به جرم 900 kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از 8 s به سرعت 12 m/s می‌رسد.
الف) برآیند 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 450 N باشد، محاسبه کنید.
- ۵ خودرویی به جرم 1200 kg با سرعت 72 km/h روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و خودرو پس از پیمودن مسافت 100 m می‌ایستد.
الف) شتاب حرکت خودرو پس از ترمز چقدر است؟
ب) نیروی اصطکاک وارد بر خودرو را محاسبه کنید.
- ۶ در چه ارتفاعی از سطح زمین نیروی گرانشی 10% کاهش می‌یابد؟ شعاع زمین را 6370 km فرض کنید.
- ۷ الف) نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.
ب) نیروی گرانشی ماه بر زمین چقدر است؟
(جرم زمین $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ ، جرم ماه $7/4 \times 10^{22} \text{ kg}$ ، فاصله ماه از زمین $4 \times 10^5 \text{ km}$ و $6/7 \times 10^{11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ را بگیرد).
- 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 10 m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر $0/2$ است.
الف) جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول 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 15N F جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چقدر است؟

ب) به ازای 20N F 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 او اهمیت دارد. علائم بزرگراهی به ما می‌گویند که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد:

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

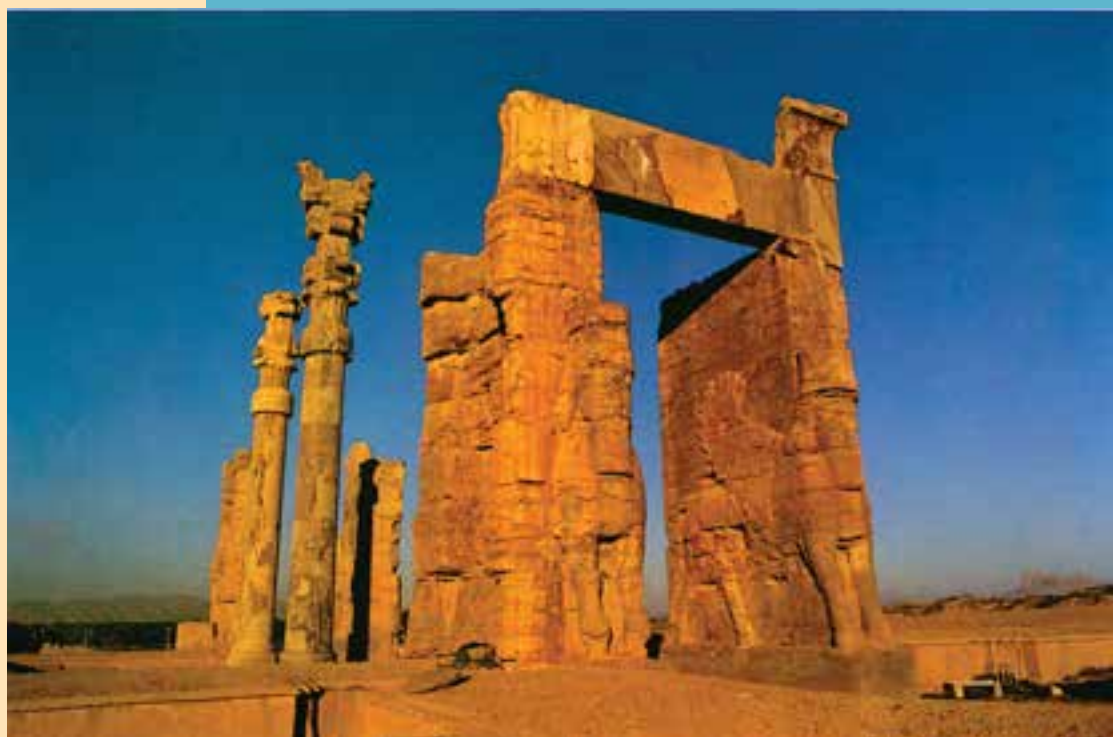
ب) دو عامل مؤثر در مسافت ترمز را نام ببرید.

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.



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 دروازهٔ همهٔ کشورها معروف بوده است.



تفت چمشید - 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؟

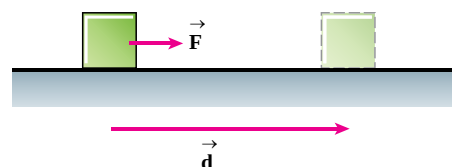
در بسیاری از فعالیت‌هایی که انجام می‌شوند:

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

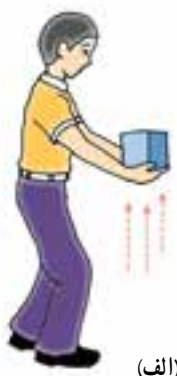
به عنوان مثال، در شکل ۱-۴ الف پسر به جعبه نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل ۱-۴ ب مادری به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. کار در فیزیک را برای مثال‌هایی که در آنها بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود، به صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌کنیم. یعنی، اگر مطابق شکل ۲-۴ به جسم نیرویی به اندازه F وارد و آن را به اندازه d جابه‌جا کنیم، طبق تعریف، کار نیروی ثابت F ، با رابطه زیر داده می‌شود.

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

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 $N.m$ 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.



(الف)



(ب)

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

مثال ۱-۴

در شکل ۱-۴ ب اگر شخص نیروی افقی برابر 4 N را به کالسکه وارد و آن را به اندازه 10 m جابه جا کند، چه مقدار کار انجام می دهد؟

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 30° نیوتون را به جسم اعمال کند و آن را به اندازه $5/^\circ$ متر بالا ببرد چه مقدار کار انجام می دهد؟

پاسخ:

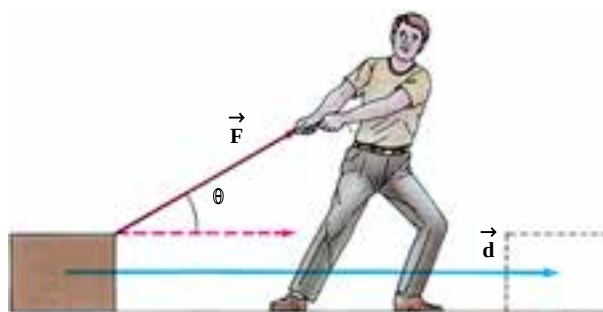
$$W = Fd$$

$$W = 30 \times 5/^\circ = 15\text{ J}$$

در شکل ۳-۴ نیروی که مرد بر جعبه وارد می کند، با جابه جایی جعبه زاویه θ می سازد. در چنین مواردی برای تعیین کار نیروی ثابت $\vec{F}$ در جابه جایی $\vec{d}$ از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$W = Fd\cos\theta$$

(۲-۴)



شکل ۳-۴ - مرد با نیروی F که با راستای افق زاویه θ می سازد، جعبه را به اندازه d جابه جا می کند.

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

مثال ۳-۴

در شکل (۳-۴) اگر نیروی که مرد بر جعبه وارد می کند 50 N و زاویه آن با جابه جایی 60° باشد. کار نیروی مرد را در 3 متر جابه جایی حساب کنید.

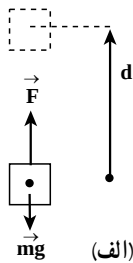
پاسخ: بر طبق رابطه (۲-۴) داریم:

$$W = Fd\cos\theta$$

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

در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می شود، می توان کار هر یک از نیروها را از رابطه

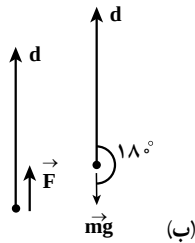
(۲-۴) به دست آورد.



(الف)

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

$$mgd$$

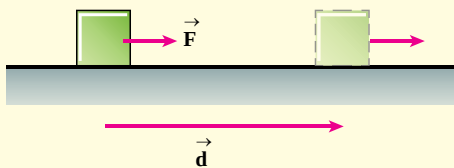


(ب)

جسمی به جرم m را با نیروی ثابت F مطابق شکل به اندازه d بالا می‌بریم.
 الف) کار نیروی وزن چقدر است؟
 ب) کار نیروی F 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:

ب) زاویه نیروی F و جابه‌جایی، صفر است (شکل مقابل). در نتیجه کار نیروی F برابر Fd است.

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. مطلوب‌ست:

- الف) کار نیروی F
 ب) کار نیروی اصطکاک جنبشی
 پ) کار نیروی عمودی تکیه‌گاه
 ت) کار نیروی وزن

مثال ۴-۵

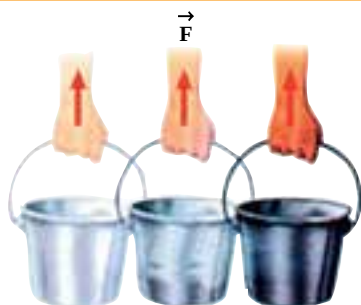
در طول مدتی که وزنه‌بردار وزنه را بالای سر خود نگه می‌دارد:
 الف) کار نیروی دست او بر روی وزنه چقدر است؟
 ب) آیا او در این مدت انرژی مصرف می‌کند؟ توضیح دهید.

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

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

ب) وزنه‌بردار در این مدت انرژی مصرف می‌کند و انرژی مصرف‌شده 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 این که سطل را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی 90° است، در نتیجه:

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

مثال‌های ۴-۵ و ۴-۶ نشان می‌دهند کاری که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت و گوهای روزمره خود استفاده می‌کنیم، تفاوت دارد.

۲-۴ رابطه کار و انرژی جنبشی

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

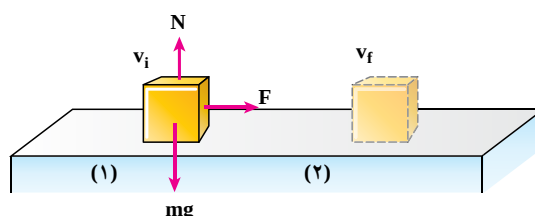
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (۴-۳)$$

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

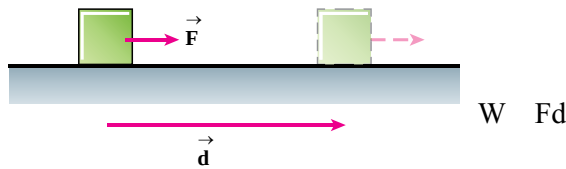
فعالیت ۱-۴

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



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



و وزن در این جابه جایی صفر است.
کار نیروی F با رابطه زیر داده می شود :

چون F مساوی برابند نیروهای وارد بر جسم است، داریم

$$F = ma$$

در اثر اعمال نیروی F سرعت جسم از مقدار v در نقطه (۱) به مقدار v در نقطه (۲) تغییر می کند.
با استفاده از رابطه ۱۴-۲ داریم :

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

اگر از این رابطه a را به دست آوریم و در رابطه ۱۳-۱ قرار دهیم، خواهیم داشت :

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

با قرار دادن این رابطه در رابطه ۱۴-۱ رابطه زیر به دست می آید :

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

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 و K نشان دهیم، رابطه (۵-۴) را می توان 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 مثال های دیگر اگر کار بیش از یک نیرو غیر صفر باشد، سمت چپ رابطه ۶-۴، مجموع آن کارها خواهد بود.
رابطه ۶-۴ قضیه کار و انرژی نامیده می شود. بر طبق این قضیه، مجموع کارهای نیروهای وارد بر هر جسم در یک جابه جایی برابر با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه جایی است.
اگر مجموع کارها مثبت باشد، $K_f > K_i$ است و انرژی جنبشی جسم افزایش می یابد و اگر مجموع کارها منفی باشد، $K_f < K_i$ است و انرژی جنبشی جسم کاهش می یابد و به همین ترتیب اگر مجموع کارها صفر باشد، $K_f = K_i$ است و انرژی جنبشی جسم تغییر نمی کند.

فعالیت ۱۴-۲

باتوجه به نکات فوق علت افزایش و یا کاهش انرژی جنبشی اجسام را در مثال هایی که در ابتدای این بخش ذکر شدند توضیح دهید.

مثال ۷-۴



چتربازی از ارتفاع 800 متری از حال سکون رها می‌شود. جرم چترباز به همراه چترش 80 kg است. اگر او با سرعت 5 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 10 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:

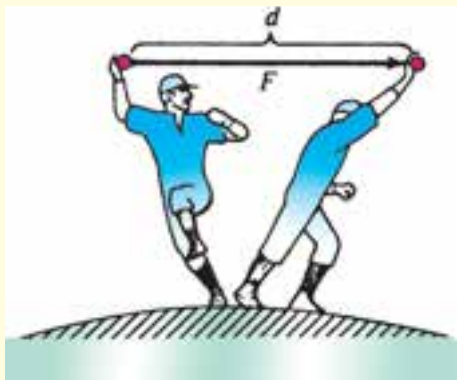
$$W_N \quad W_{\text{مقاومت هوا}} \quad K \quad K$$

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

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

$$640000 \quad W_{\text{مقاومت هوا}} \quad 1000 \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} \quad 639000 \text{ J}$$

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 0.5 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:

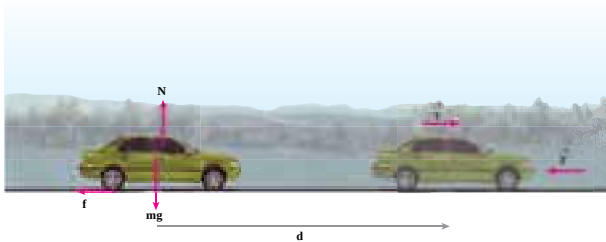
$$v_i = \frac{72 \times 1000}{3600} = 20 \text{ m/s}$$

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 $K = 0$ است.

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



$$W \quad W_N \quad W_{mg} \quad k \quad k$$

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

$$W = 0 = 240000$$

$$W = 240000 \text{ J}$$

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:

$$W \quad W_N \quad W_{mg} \quad K \quad K$$

کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جابه جایی صفر است. سرعت اولیه کامیونت 10 m/s و سرعت نهایی آن صفر است.

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

$$W_f = f_k d \cos \theta = \mu_k mg d \cos 180^\circ$$

$$-150000 = 0.8 \times 3000 \times 10 \times d \times (-1) \Rightarrow d = 62.5 \text{ m}$$

آزمایش ۱-۴

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

شرح آزمایش

- ۱- مانند تصویر، روی زمین یک خط افقی بکشید و در شیشه 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، جابه جایی 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 را به دست آورید.
- ۵- به کمک قضیه کار و انرژی، ضریب اصطکاک جنبشی بین دو شیشه و کف اتاق را به دست آورید.
- ۶- آزمایش را چند بار تکرار کنید و میانگین ضریب اصطکاک را بیابید.

۳-۴ رابطه کار و انرژی پتانسیل

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

فرض کنید توپ کوچکی به جرم m را از ارتفاع h در راستای قائم و رو به بالا پرتاب می کنیم (شکل ۴-۵). سرعت توپ به تدریج کاهش می یابد تا اینکه سرانجام در ارتفاع h برای لحظه ای می ایستد. کار نیروی وزن در این جابه جایی برابر است با:

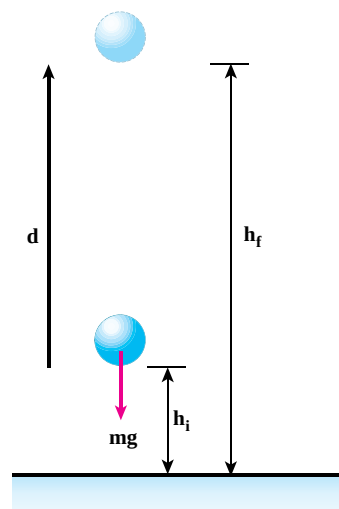
$$W_{\text{وزن}} = mgd \cos 180^\circ = -mg(h - h_i) \quad (۱)$$

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

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

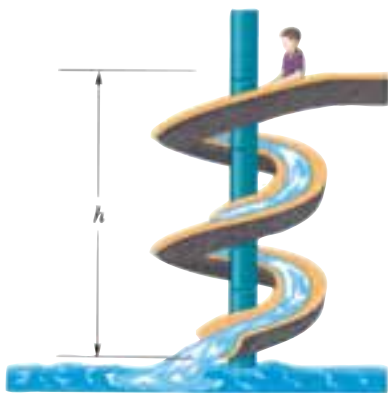
به عبارت دیگر، کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

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



شکل ۴-۵

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



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

کودکی به جرم 25 kg 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.

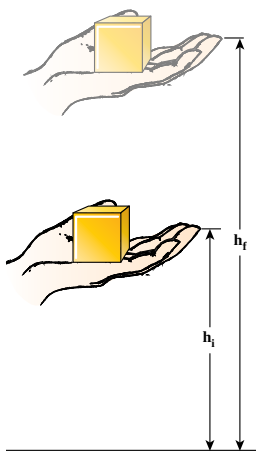
$$U_{\text{بالا}} = mgh = 25 \times 10 \times 8 = 2000\text{ J}$$

$$U_{\text{پایین}} = mgh = 25 \times 10 \times 0 = 0\text{ J}$$

$$W_{\text{وزن}} = \Delta U = U_{\text{پایین}} - U_{\text{بالا}} = 0 - 2000\text{ J} = -2000\text{ J} \quad (\text{ب})$$

جسمی به جرم m را مانند شکل با دستمان از ارتفاع h به ارتفاع h می بریم. 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:



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

از آنجا که جسم در ابتدا و انتهای مسیر ساکن است، تغییر انرژی جنبشی آن صفر است. ($\Delta K = 0$)

$$W_{\text{وزن}} = W_{\text{دست}} \Rightarrow W_{\text{وزن}} = W_{\text{دست}}$$

بنابراین:

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

$$W_{\text{وزن}} = \Delta U = (mgh_2 - mgh_1)$$

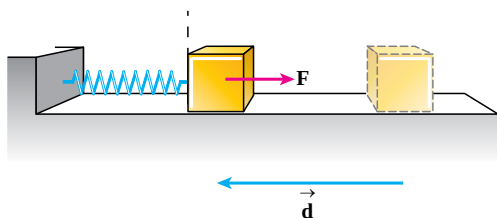
و آن را در رابطه قبل جایگزین کنیم و کار نیروی دست را پیدا کنیم.

$$W_{\text{دست}} = (\Delta U) = (mgh_2 - mgh_1)$$

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.

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:

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

انرژی پتانسیل اولیه فنر، صفر و در پایان 15 J است.

$$W_{\text{فنر}} = 15\text{ J} - (0 - 20)$$

ب) بنابر قضیه کار و انرژی:

$$W_{\text{فنر}} = W_{\text{صطکاک}} + W_{\text{و ن}} + W_{\text{سطح عمودی}} \quad K_f - K_i$$

$$20 - W_{\text{صطکاک}} = 0 \Rightarrow W_{\text{صطکاک}} = 20\text{ J}$$

فعالیت ۳-۴

وسایلهایی 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 به K و انرژی پتانسیل گرانشی آن از U به U تغییر می‌کند. با توجه به رابطه کار و انرژی

پتانسیل گرانشی می‌توانیم بنویسیم:

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

اگر از مقاومت هوا برای این جسم چشم‌پوشی کنیم تنها نیروی وارد بر آن وزن است و بنابر

قضیه کار و انرژی داریم:

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

با مقایسه این دو رابطه می‌توانیم بنویسیم:

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

$$U_f + K_f = U_i + K_i$$

و یا

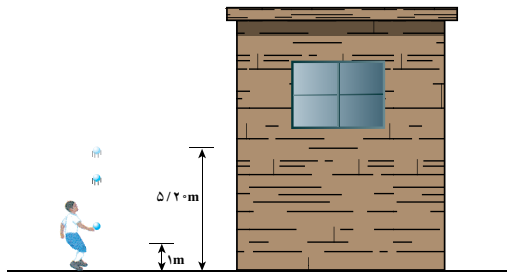
یعنی مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف از مسیر حرکت با هم برابر است.

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

$$E = U + K$$

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 از ارتفاع یک متری سطح زمین در راستای قائم رو به بالا پرتاب می‌کند. با چشم پوشی از مقاومت هوا سرعت عبور سنگ ریزه از لبه پنجره‌ای را حساب کنید که تا زمین ۵/۲ متر فاصله دارد ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

پاسخ: با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی

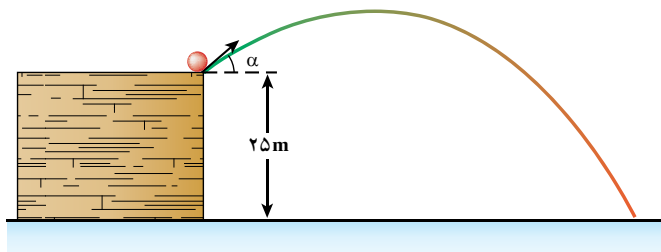
$$E_i = E_f$$

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

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

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

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



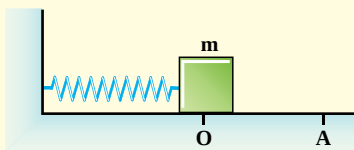
از بالای یک بلندی به ارتفاع ۲۵ متر جسمی را مطابق شکل با سرعت 20 m/s پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم هنگام برخورد با زمین چقدر است؟ $g = 10 \text{ m/s}^2$ و از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید.

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

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

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

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



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:

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

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

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

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 ۵۰ متری سطح زمین با سرعت ۱۰ m/s در پرواز است، بسته‌ای به جرم ۱۰ kg رها می‌شود و با سرعت ۲۰ m/s به زمین می‌رسد. کار نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظه رهاشدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ($g = ۱۰ \text{ m/s}^2$) است.



پاسخ:

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

بسته در لحظه جداشدن از بالگرد، سرعت ۱۰ 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؟ (10 m/s^2 g است).

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

$$W_{\text{موتور}} = \Delta K$$

$$mg(h_2 - h_1) = W_{\text{موتور}}$$

$$W_{\text{موتور}} = mg(h_2 - h_1)$$

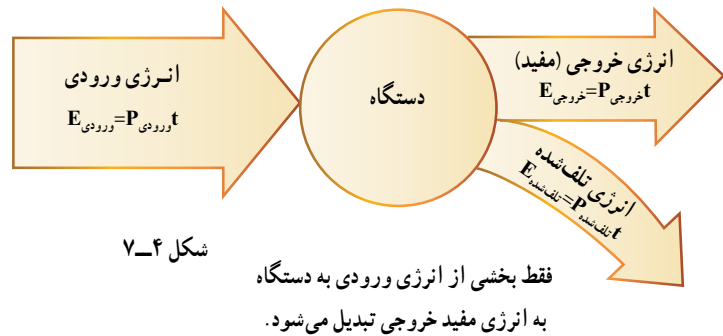
$$W_{\text{موتور}} = 500 \times 10 \times 6 = 30000 \text{ J}$$

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.



فقط بخشی از انرژی ورودی به دستگاه به انرژی مفید خروجی تبدیل می‌شود.

انرژی مفید یا کار انجام شده به وسیله دستگاه بازده
انرژی یا کار داده شده به دستگاه

(۸-۴)

روشن است که مقدار این کسر همواره کوچک‌تر از ۱ است. معمولاً بازده را به شکل درصد بیان می‌کنیم.
این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به کار یا انرژی خروجی تبدیل شده است.

مثال ۱۷-۴

مصرف بنزین خودرویی که با سرعت 90 km/h حرکت می‌کند در هر $6,100 \text{ km}$ است. انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین $3/5 \times 10^7 \text{ J}$ 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؟

$$E_{\text{مفید}} = (6 \text{ lit})(3/5 \times 10^7 \text{ J/lit}) \left(\frac{20}{100} \right) = 4/2 \times 10^7 \text{ J}$$

پاسخ:

$$t = \frac{100}{90} \text{ h} = \frac{100}{90} \times 3600 \text{ s} = 4000 \text{ s}$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{6 \times 3/5 \times 10^7 \times 0/2}{4 \times 10^3} = 1/05 \times 10^4 \text{ W}$$

$$= \frac{1/05 \times 10^4}{746} = 14 \text{ hp}$$

تمرین ۳-۴

در ساختمانی برای بالا بردن مصالح از یک بالابر الکتریکی استفاده می‌شود که با توان متوسط یک کیلووات، الکتریسته 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 100 kg را 10 m بالا ببرد.

غیاث الدین جمشید کاشانی

غیاث الدین کاشانی، در حدود سال ۷۳۰ هجری شمسی در کاشان، به دنیا آمد. از دوران کودکی و نوجوانی غیاث الدین، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در بیشتر کتاب‌ها از او به نام جمشیدبن مسعودبن محمود طبیب کاشانی یاد کرده اند. آن طور که از لقب جد پدری اش برمی آید، طبابت در خانواده ایشان رواج داشته است و آنها مهارت‌های فراوانی در این کار از خود نشان داده‌اند، اما غیاث الدین کوچک به پزشکی علاقه نشان نمی‌داد.

غیاث الدین 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 غیاث الدین باعث شد تا پسرش در مسیر استعداد واقعی اش پرورش پیدا کند. او چون به نجوم و حرکات سیارات و ستارگان علاقه فراوانی داشت از همان کودکی، با پشتکار به رصد شبانه می‌پرداخت. غیاث الدین جوان، پس از انجام تحقیق‌ها و مطالعاتش توانست ابزار نجومی مختلفی برای محاسبات دقیق حرکت و وضعیت ستارگان اختراع کند. همچنین کتاب‌های ارزشمند و نفیس زیادی را طی سال‌های ۷۸۶ 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 غیاث الدین بوده است.

از دیگر کارهای او در آن دوران می‌توان به اتمام کار تحقیقی زیج خودش، با نام «**زیج خاقانی**» اشاره کرد که در آن زمان، زیج نو و جدیدی بوده است.

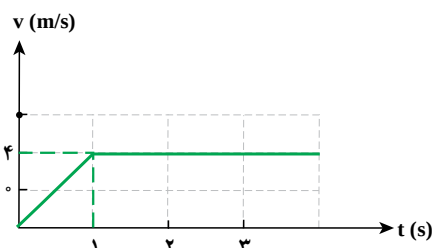
در سال ۸۰۱ هجری شمسی به دعوت اُلغ بیگ، حاکم سمرقند، کاشان را به قصد سمرقند ترک کرد. در سمرقند با دانشمندان زیادی از جمله دانشمندان تاشکندی رقابت داشت و به دلیل نبوغ بالای او، دانشمندان به او حسادت می‌کردند. رساله «**محیطیه**» و کتاب «**مفتاح الحساب**» را در سمرقند به زبان عربی تألیف کرد، «**مفتاح الحساب**» را بعدها سه دانشمند روسی، به زبان روسی منتشر کردند. از مهم ترین اقدامات او، ساختن ساختمان رصدخانه در سمرقند بود، با ساخت ابزار نجومی‌ای که خودش آنها را طراحی کرده بود، تحقیقات و رصدهای شبانه در این رصدخانه آغاز شد. او قصد تهیه زیج دقیق‌تری را داشت، اما قبل از آنکه به پایان برسد، در سال ۸۰۹ هجری شمسی، هنگام رصد شبانه، از دنیا رفت.

پرسش‌های فصل چهارم

- ۱ دو جسم هم جرم A و B را به بالای برج بلندی می‌بریم. جسم A را با جرثقیل به طور مستقیم بالا می‌بریم و جسم B را خیلی آرام از 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 آرام تر 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 چطور؟ 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.

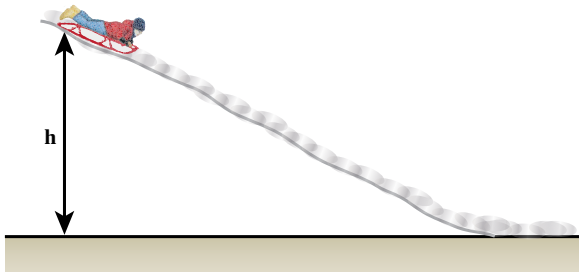


۵ در یک دستگاه پایه کوبی، مطابق شکل روبه‌رو، پتکی به جرم 200 kg را به ارتفاع 3 m بالای پایه آهنی می‌برند و آن را رها می‌کنند. پایه در اثر برخورد پتک، 1 cm در زمین فرو می‌رود. ریل‌های قائمی که پتک را هدایت می‌کنند، نیروی اصطکاک ثابت 60 N بر آن وارد می‌کنند. با استفاده از قضیه کار و انرژی الف) سرعت پتک در لحظه قبل از برخورد به پایه را بدست آورید. ب) کار نیرویی که پتک به پایه وارد می‌کند، چقدر است؟

۶ گلوله‌ای به جرم 24 kg 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 3° متری 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 گلوله‌ای به جرم 5 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).



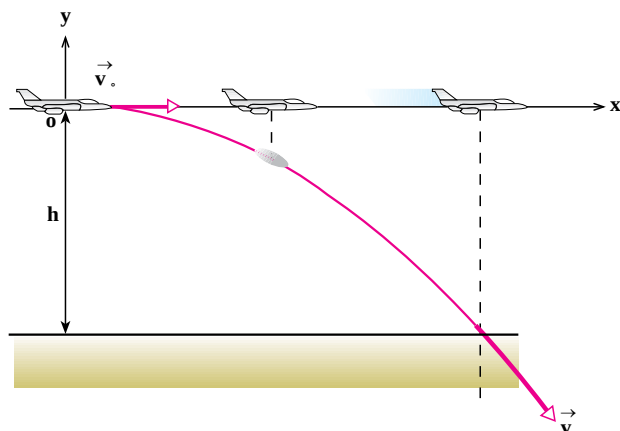
۹ یک سورتمه 20 کیلوگرمی از بالای تپه‌ای، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. الف) اگر ارتفاع تپه 100 متر و اصطکاک قابل چشم‌پوشی باشد، سرعت سورتمه در پایین تپه چقدر خواهد بود؟ ب) فرض کنید مسیر تپه اصطکاک داشته باشد و سرعت سورتمه در پایین مسیر 3 m/s شود. چه مقدار انرژی بر اثر اصطکاک به انرژی درونی تبدیل می‌شود؟

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 جابجایی 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؟

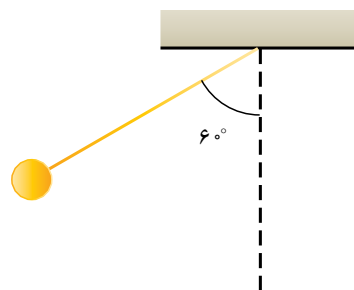


۱۲ در شکل روبه‌رو یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف نظر کنید.



۱۳ در شکل روبه‌رو هواپیما که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت 90 km/h به طور افقی پرواز می‌کند، را رها می‌کند. سرعت بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید).

۱۴ شخصی به جرم 70 kg پله را در زمان یک دقیقه طی می‌کند. توان متوسط او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را 30 cm متر فرض کنید.



۱۵ آونگی به جرم m و طول l را مطابق شکل روبه‌رو به اندازه 60° از وضعیت قائم منحرف و از حال سکون رها می‌کنیم. الف) سرعت آونگ هنگامی که از وضعیت قائم می‌گذرد، چقدر است؟ ب) آونگ از طرف دیگر تا چه ارتفاعی بالا می‌رود؟ (از مقاومت هوا صرف نظر کنید).

۱۶ ارتفاع یک سد 100 m است. توان الکتریکی مولدی که در پایین این سد قرار دارد، تقریباً برابر با 200 MW است. اگر 92% درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی پره‌های توربین بریزد؟ (جرم هر متر مکعب آب را 1000 kg بگیرید).

۱۷ یک موتور آب الکتریکی حجمی از آب را با آهنگ $8 \text{ m}^3/\text{s}$ تا ارتفاع 15 m بالا می‌برد. اگر بازده موتور 80% باشد، توان الکتریکی مصرفی موتور چقدر است؟ انرژی جنبشی آب هنگام خروج از دهانه موتور، در مقایسه با انرژی پتانسیل آن قابل چشم‌پوشی بر متر مکعب آب، 1000 kg جرم دارد.

۱۸ بازده بدن انسان در تبدیل انرژی غذایی به کار تا حدودی به نوع فعالیت بستگی دارد. بازده بدن برای بالا رفتن از پله 20% است. فرض کنید شخصی 60 kg در مدت 8 s از پلکانی به ارتفاع 2 m بالا می‌رود. آهنگ مصرف انرژی شخص در این فعالیت چقدر است؟

۱۹ آسانسوری با سرعت ثابت 10 m/s نفر مسافر را در 3 دقیقه تا ارتفاع 80 m بالا می‌برد. اگر جرم متوسط هر مسافر 80 kg و جرم آسانسور 1000 kg باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟

تغییر حالت قیر از مایع به جامد
و از جامد به مایع، به صنعتگران
قلم‌زن کمک می‌کند تا بدون
سوراخ‌شدن فلز بر روی آن نقش
و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.



قلم‌زنی در ایران

هنگامی که رفتار ماده را در حالت‌های گاز، مایع و جامد مورد بررسی قرار می‌دهیم، سؤال‌های زیادی مشابه سؤال‌های زیر برای ما مطرح می‌شوند:

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره‌ای که از شیر جدا می‌شود، در حین سقوط نیز قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد، ولی مایع‌ها را نمی‌توان به آسانی متراکم کرد؟

این مشاهددها و بسیاری پدیده‌های دیگر را، که در این فصل با آنها آشنا خواهید شد، می‌توان با توجه به نیروهای بین مولکول‌ها و چگونگی حرکت مولکول‌ها در داخل ماده توضیح داد.



شکل ۵-۱ مراحل سقوط یک قطره شیر و برخورد آن به سطح این مایع در لحظه‌های مختلف عکس برداری شده است. در عکس برداری از رنگ‌های متفاوت نور استفاده شده است.

۵-۱ حالت‌های مختلف ماده

می‌دانیم که مولکول‌ها کوچک‌ترین جزء سازنده ماده‌اند^۱. اندازه اتم‌ها در حدود یک انگستروم (10^{-10} m) است. اندازه مولکول‌ها بستگی به این امر دارد که از چند اتم تشکیل شده است. در فعالیت زیر می‌توانید اندازه یک مولکول روغن را برآورد کنید.

فعالیت ۵-۱

یک قطره روغن را روی سطح آب بچکانید. قطره روغن روی سطح آب گسترش می‌یابد. هرچه سطح آب وسیع‌تر باشد، گسترش روغن بیشتر است. این گسترش آن قدر ادامه می‌یابد تا در روی سطح آب لایه‌نازکی که ضخامت آن در حدود اندازه یک مولکول است تشکیل شود. با اندازه‌گیری تقریبی مساحت روغن در روی سطح آب و نیز اندازه‌گیری حجم قطره (در فصل ۱ روشی برای اندازه‌گیری آن داده شده است) می‌توانید ضخامت لایه را برآورد کنید. ضخامت لایه برآوردی از اندازه مولکول روغن است.

ماده‌ها در حالت (فاز)‌های گاز، مایع و جامد یافت می‌شوند. اکنون به بررسی این حالت‌ها می‌پردازیم.

الف) گاز: در حالت گازی مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت می‌کنند و با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می‌کنند. فاصله مولکول‌ها در حالت گاز در حدود چند ده برابر فاصله آنها در مایع و جامد است. ویژگی‌هایی را که در بالا شرح دادیم می‌توان تا حدودی با انجام فعالیت‌ها و مشاهددهای زیر دریافت.

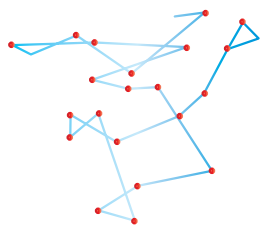
۱- در مواردی نیز که کوچک‌ترین جزء سازنده ماده اتم است برای سادگی از واژه مولکول برای این جزء استفاده کرده‌ایم.

فعالیت ۲-۵

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی را ببندید و سعی کنید آن را متراکم کنید. سپس آن را پر از آب کنید و دوباره سعی کنید آن را متراکم کنید. در کدام حالت متراکم کردن ظرف مشکل تر است؟

از این فعالیت می‌توان دریافت که فاصله مولکول‌ها در حالت گاز بیشتر از فاصله آنها در حالت مایع است.

وقتی یک گل خوشبو را وارد اتاق می‌کنید و یا اینکه در یک شیشه عطر را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش آنها را می‌توانید در تمام اتاق حس کنید. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که وقتی مولکول هوا به مولکول عطر برخورد می‌کند، مسیر حرکت آن را تغییر می‌دهد. مولکول عطر پس از این برخورد به حرکت خود در امتداد یک خط مستقیم ادامه می‌دهد. برخورد بعدی با یک مولکول دیگر هوا مجدداً مسیر مولکول عطر را تغییر می‌دهد، در نتیجه، مولکول‌های عطر مطابق شکل ۲-۵ در مسیر خط شکسته حرکت می‌کنند. به این ترتیب مولکول‌های عطر در اثر برخورد با مولکول‌های هوا به قسمت‌های مختلف اتاق منتقل می‌شوند. این پدیده، **پخش** مولکول‌های عطر در اتاق نامیده می‌شود. از این مشاهده می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر برخورد می‌کنند. **(ب) مایع:** فاصله مولکول‌ها در مایع در مقایسه با گاز بسیار کم است (در حدود 10^{-10} m). در مایع مولکول‌ها به اطراف خود حرکت می‌کنند و به سهولت روی هم می‌لغزند.



شکل ۲-۵

فعالیت ۳-۵

یک قطره جوهر را در داخل آب بریزید. مدتی صبر کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ این مشاهده کدام ویژگی مایع را که در بالا شرح داده شد نشان می‌دهد؟

فعالیت ۴-۵

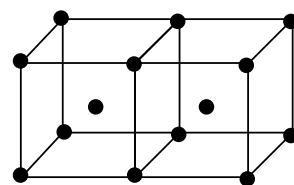
هنگامی که لبوانی را که پر از آب است کج می‌کنیم، آب به راحتی از آن می‌ریزد. این پدیده کدام یک از ویژگی‌های مایع را که در بالا ذکر شد نشان می‌دهد؟

(پ) جامد: در جامد فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آنها در مایع است (یعنی، در حدود 10^{-10} m). آنها نمی‌توانند، مانند وضعیتی که در حالت‌های مایع و گاز دارند، آزادانه به اطراف حرکت کنند. بلکه، در جامد در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط می‌توانند در اطراف این مکان‌ها حرکت‌های نوسانی (رفت و برگشتی) بسیار کوچکی انجام دهند.

در جامدهای بلورین مولکول‌ها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های ۵-۳-الف و ب، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و جامدهای بلورین از تکرار این طرح‌ها حاصل می‌شوند. فلزها و بیشتر سنگ‌ها مانند نمک طعام و الماس جامدهای بلورین هستند.

جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این صورت مولکول‌ها فرصت دارند که در طرح منظمی خود را مرتب کنند.

در جامدهای بی‌شکل مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها، مانند شکل ۵-۳-ب در طرح منظمی در کنار یکدیگر قرار ندارند. این جامدها، معمولاً از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. با این عمل مولکول‌ها فرصت کافی پیدا نمی‌کنند که خود را در طرح منظمی مرتب کنند. در نتیجه، تا حدود زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. دیدیم که فاصله مولکول‌ها در گاز بسیار بیشتر از فاصله آنها در جامد و مایع است. با معرفی کمیت بسیار مهمی به نام چگالی می‌توان درستی این امر را تحقیق کرد.



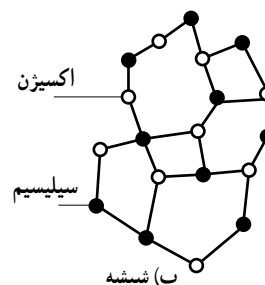
الف) آهن



ب) نمک طعام

۵-۲ چگالی

ما در زندگی روزمره با جامدها، مایع‌ها و گازهای مختلف سروکار داریم. ممکن است بخواهیم جرم آنها را با یکدیگر مقایسه کنیم و ببینیم مثلاً در میان مایع‌ها جرم یک حجم معین از کدام مایع بیشتر از دیگری است. برای پاسخ دادن به این سؤال لازم است به آزمایش ۵-۱ توجه کنید.



شکل ۵-۳

آزمایش ۵-۱

وسایل لازم: یک لیوان، مایع‌های مختلف مانند: آب، الکل صنعتی، روغن، مایع ظرف‌شویی، ...، ترازو

یک لیوان اختیار کنید و حجم داخلی آن را اندازه‌گیری کنید. سپس در آن مایع‌های مختلف بریزید و جرم آنها را اندازه‌گیری و جدول زیر را تکمیل کنید.

مایع	حجم (V) m ^۳	جرم (m) kg	m/V kg/m ^۳
آب			
الکل صنعتی			
مایع ظرف‌شویی			
روغن			

نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

جرم یکای حجم از هر جسم، چگالی آن نامیده می شود و چگالی را با نماد ρ نمایش می دهیم. اگر جرم جسم m و حجم آن V باشد، چگالی آن از رابطه زیر به دست می آید :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۵)$$

یکای چگالی kg/m^3 است. در آزمایش ۱-۵ با تقسیم کردن جرم هر مایع به حجم آن چگالی آن مایع را به دست آورده اید. چگالی مواد مختلف در سه حالت جامد، مایع و گاز در جدول ۱-۵ آمده است.

چگالی آب را که در آزمایش ۱-۵ به دست آمده است با آنچه که در جدول ۱-۵ برای آب ذکر شده مقایسه و در صورتی که تفاوتی مشاهده می کنید علت های ممکن را بیان کنید.

فعالیت ۵-۵

در روی بعضی اجناس (مانند روغن، شامپو، مایع ظرف شویی و ...) جرم یا حجم آنها نوشته شده است. چگالی آنها را اندازه گیری کنید.

فعالیت ۶-۵

چگالی یک جامد، مانند قاشق، کارد و ... را به دست آورید. برای اندازه گیری حجم آنها می توانید از یک استوانه مدرج حاوی آب استفاده کنید. با انداختن این اجسام در این استوانه حجم آب به اندازه حجم جسم افزایش می یابد.

جدول ۱-۵- چگالی برخی مواد

چگالی (kg/m^3)	جامدها	چگالی (kg/m^3)	مایع ها	چگالی (kg/m^3)	گاز ها
۲۱۴	پلاتین	۱۳۶	جیوه	۲	دی اکسید کربن
۱۹۳	طلا	۱	آب (4°C)	۱/۴۳	اکسیژن
۱۱۳	سرب	۸ - ۹۵	نفت	۱/۲۹	هوا
۱۵	نقره	۹۲	هوای مایع (-۱۹۴°C)	۱/۱۸	هلیوم
۸۹۳	مس	۸۱	ازت مایع (-۱۹۶°C)	۹	هیدروژن
۷۸	آهن (فولاد)	۷۹	الکل (اتانول)		
۶۹	روی	۱۲۵	هلیوم مایع (-۲۶۹°C)		
۲۵ - ۱	چوب				
۲۷	آلومینیوم				
۹۲	بن				

* در مواردی که دما ذکر نشده است، چگالی مربوط به دمای 4°C است

فعالیت ۷-۵

از مقایسه چگالی هوا در حالت های گاز و مایع و نیز هلیوم در این دو حالت چه نتیجه ای می توان در مورد فاصله مولکول ها در حالت های گاز و مایع به دست آورد؟

یکی از موارد استفاده از چگالی این است که می توان با استفاده از آن با داشتن هریک از دو کمیت جرم یا حجم دیگری را محاسبه کرد.

مثال ۱-۵

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

پاسخ: با استفاده از جدول (۱-۵) چگالی آب 1000 kg/m^3 است. یک لیتر برابر با 10^{-3} m^3 است. در نتیجه:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1000 = \frac{m}{10^{-3}}$$

که از آن مقدار $m = 1 \text{ kg}$ به دست می آید.

فعالیت ۸-۵

اگر برای اندازه گیری جرم جسمی وزنه در اختیار نداشته باشید، چگونه می توانید جرم آن را تعیین کنید؟

فعالیت ۹-۵

حجم داخل یک سطل را با روش های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

۳-۵ نیروهای چسبندگی

اگر به یک قطره آب که از شیر می چکد توجه کنیم، می بینیم که قطره پس از جدا شدن از شیر در تمام طول مسیر به صورت قطره باقی می ماند. مولکول های این قطره در حین سقوط از یکدیگر دور نمی شوند و متصل به یکدیگر باقی می مانند. برای توجیه این پدیده می توان گفت که بین مولکول های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که **نیروی چسبندگی** نامیده می شود. این نیرو مولکول های مایع را در قطره متصل به یکدیگر نگاه می دارد. تأثیر این نیرو را می توان در پدیده های مختلف مشاهده کرد. اکنون ممکن است این سؤال مطرح شود که چرا این نیروی ربایشی باعث نمی شود که مولکول ها درهم فرو روند. برای توضیح دادن این امر می توان گفت که وقتی مولکول ها به هم بسیار نزدیک می شوند یک نیروی رانشی قوی بین آنها ایجاد می شود که از نزدیک شدن بیشتر آنها جلوگیری می کند. در واقع، اینکه ظرف حاوی آب در فعالیت ۲-۵ را به آسانی نمی توان متراکم کرد حاکی از این است

که با متراکم کردن اندک ظرف، مولکول‌های آن، آن قدر به یکدیگر نزدیک می‌شوند که نیروی رانشی قوی که در بالا به آن اشاره شد بین مولکول‌ها ایجاد می‌شود. این نیرو مانع متراکم کردن بیشتر آب می‌شود. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایع‌ها را تقریباً تراکم‌ناپذیر می‌کند. در نتیجه، با توجه به نکات بالا می‌توان گفت که در فاصله‌های خیلی کوتاه (در مقایسه با فاصله بین مولکول‌ها در حالت مایع) نیروی بین مولکولی رانشی است و در فاصله‌های بیشتر این نیرو ربایشی است. نیروهای بین مولکولی کوتاه بُرد هستند. یعنی، وقتی فاصله مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی می‌شود نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر می‌شوند.

فعالیت ۱۰-۵

با توجه به مطالبی که در بالا در مورد نیروهای بین مولکولی بیان شد، توضیح دهید چرا مولکول‌های عطر در شکل ۲-۵ ناگهان تغییر مسیر می‌دهند؟

۴-۵ کشش سطحی

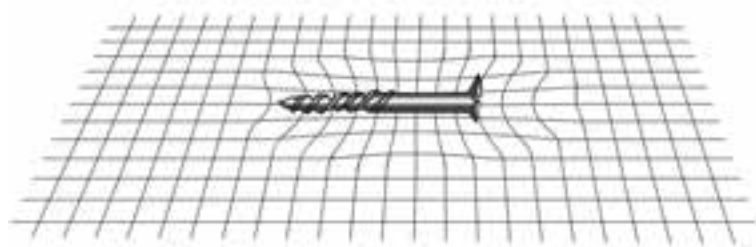
دیدیم که تشکیل قطره آب وجود نیروهای چسبندگی را نشان می‌دهد. ولی پدیده‌های دیگری نیز وجود دارند که به کمک آنها می‌توان به وجود نیروهای چسبندگی پی برد. یکی از این پدیده‌ها اثر کشش سطحی است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم.

آزمایش ۲-۵

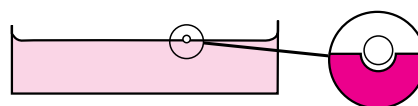
وسایل لازم: سوزن، دستمال کاغذی، یک ظرف آب

سوزن را بر روی یک تکه کوچک دستمال کاغذی قرار دهید و آنها را روی سطح آب بگذارید. پس از مدتی دستمال خیس می‌شود و از سطح آب پایین می‌رود. سوزن بر روی سطح آب شناور باقی می‌ماند.

اگر به سطح آب توجه کنید، ملاحظه خواهید کرد که مطابق شکل ۴-۵ الف در سطح آب یک فرورفتگی ایجاد می‌شود. این پدیده مشابه نگاهداری یک پیچ توسط یک پارچه توری است. همان‌طور که در شکل ۴-۵ ب دیده می‌شود، با قرار دادن پیچ یک فرورفتگی در پارچه توری ایجاد می‌شود.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۵

همان‌طور که نخ‌های توری به یکدیگر متصل‌اند و پیچ را نگاه می‌دارند، مولکول‌های آب نیز مانند شکل ۵-۴ الف با نیروهای چسبندگی یکدیگر را می‌ربایند و باعث می‌شوند که سطح آب مانند یک توری یا پوسته کشیده رفتار کند و سوزن را نگاه دارد. این رفتار سطح را **کشش سطحی** می‌نامند.

فعالیت ۵-۱۱

در شکل روبه‌رو حشره چگونه می‌تواند روی آب بایستد؟



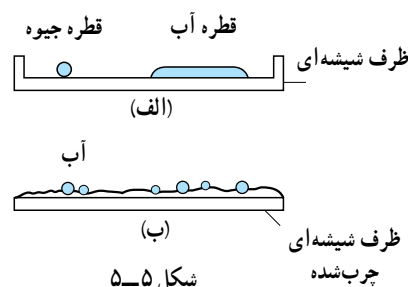
۵-۵ نیروهای چسبندگی سطحی

دیدیم که بین مولکول‌های یک ماده یک نیروی چسبندگی وجود دارد. این نیرو باعث می‌شود که پدیده‌های جالبی رخ دهد که در بحث‌های قبل دیدیم. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند نیز پدیده‌هایی اتفاق می‌افتند که اکنون به توصیف آنها می‌پردازیم.

فعالیت ۵-۱۲

یک قطره آب را بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز و خشک قرار دهید. یک بار نیز سطح شیشه را با روغن چرب کنید و سپس قطره را روی سطح آن قرار دهید. آزمایش بالا را با یک قطره جیوه بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز تکرار کنید. مشاهده‌های خود را به کلاس گزارش کنید و توجیه‌های خود را به بحث بگذارید.

در آزمایش اول، قطره آب مطابق شکل ۵-۵ الف بر روی سطح پهن می‌شود. در این صورت می‌گویند آب سطح شیشه را تر می‌کند. در آزمایش دوم قطره آب مطابق شکل ۵-۵ ب به صورت کروی درمی‌آید. قطره جیوه بر طبق شکل ۵-۵ الف بر روی ظرف شیشه‌ای به صورت کروی درمی‌آید. برای توجیه این مشاهدات می‌توان گفت بین مولکول‌های آب و شیشه نیز نیرویی وجود دارد که نیروی **چسبندگی سطحی** نامیده می‌شود. در فعالیت اول نیروی چسبندگی سطحی بیشتر از نیروی چسبندگی است و آب بر روی سطح شیشه پهن می‌شود. در فعالیت دوم، نیروی چسبندگی سطحی کمتر از نیروی چسبندگی است و آب به صورت کروی درمی‌آید.

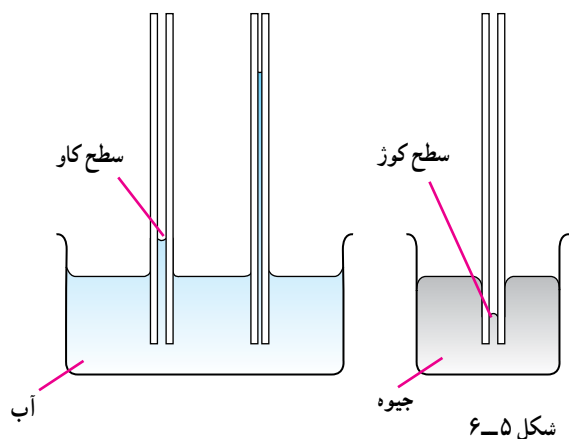


یکی دیگر از اثرهای نیروی چسبندگی سطحی، **موینگی** است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم:

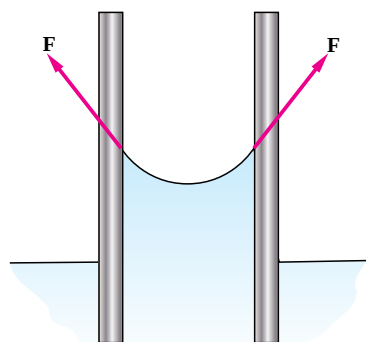
آزمایش ۳-۵

وسایل لازم: یک ظرف آب، یک ظرف جیوه، لوله‌های موین با قطرهای متفاوت

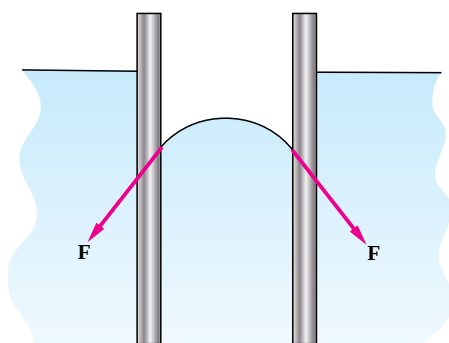
لوله‌های موین را وارد ظرف‌های آب و جیوه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید. دلیل‌های توجیهی خود را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۶-۵



شکل ۷-۵



شکل ۸-۵

در آزمایش ۳-۵ می‌توان موردهای زیر را مشاهده کرد:

۱- سطح آب در لوله موین دارای فرو رفتگی است.

۲- آب در لوله موین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد.

۳- سطح جیوه در لوله موین دارای برآمدگی است.

۴- جیوه در لوله موین بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف قرار می‌گیرد.

در مورد اول نیروی چسبندگی سطحی بیشتر از نیروی چسبندگی است. در نتیجه مولکول‌های آب به طرف سطح داخلی لوله موین کشیده می‌شوند و در سطح آب مانند شکل ۷-۵ فرو رفتگی ایجاد می‌شود. از طرف سطح داخلی لوله موین نیروی F مطابق شکل به آبی که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث بالا رفتن آب در لوله موین می‌شود.

در مورد سوم، نیروی چسبندگی بیشتر از نیروی چسبندگی سطحی است. مولکول‌های جیوه که به سطح داخلی لوله موین نزدیک‌اند به طرف مرکز لوله کشیده می‌شوند و در سطح جیوه مطابق شکل ۸-۵ برآمدگی ایجاد می‌شود.

از طرف سطح داخلی لوله موین نیروی F مطابق شکل به جیوه‌ای که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث پایین رفتن جیوه در لوله موین می‌شود.

فعالیت ۱۳-۵

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

فعالیت ۱۴-۵

در گذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می کردند؟

فعالیت ۱۵-۵

در گیاهان آب و مواد غذایی لازم دیگر بر اساس موئینگی از آوندهای چوبی بالا می روند. مواد دیگری را نام ببرید که در اثر این خاصیت آب در آنها نفوذ می کند.

اکنون که با نیروهای بین مولکولی آشنا شده ایم به بررسی برخی خواص مایع ها و گازها می پردازیم.

۵-۲ فشار

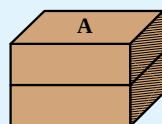
اگر با کفش روی برف بایستیم، مقداری در آن فرو می رویم. ولی اگر چوب اسکی به پا داشته باشیم، کمتر در برف فرو می رویم. علت چیست؟ در این مثال، وزن تغییر نکرده است. بلکه سطح تماس ما با برف افزایش یافته است. در حالتی که چوب اسکی به پا داریم، نیروی وارد بر سطح در مقایسه با حالتی که با کفش در برف ایستاده ایم در سطح بیشتری توزیع شده است و در نتیجه کمتر در برف فرو می رویم.

فناوری و کاربرد

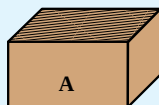
مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب موئینگی آب را به درون خود می کشند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی کند، استفاده می کنند و قبل از سافتن ساختمان زمین را قیراندود می کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود.

فعالیت ۱۶-۵

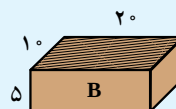
در شکل الف آجری به ابعاد $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ نشان داده شده است. مساحت وجه A برابر 20cm^2 و مساحت وجه B برابر 10cm^2 است. سطح مقداری ماسه نرم را صاف کنید و آجر را از وجه B روی آن قرار دهید. شکل ب مقدار فرورفتگی آجر را در شن اندازه گیری و یادداشت کنید. سپس آجر را از وجه A روی ماسه قرار دهید و آجر یکسان دیگری را روی آن بگذارید شکل پ. مقدار فرورفتگی را مجدداً اندازه گیری و یادداشت کنید. مشاهده خود را به کلاس گزارش دهید و توجیه آن را به بحث بگذارید.



(پ)



(ب)



(الف)

از فعالیت ۵-۱۶ مشاهده خواهیم کرد که مقدار فرورفتگی در دو حالت یکسان است. علت این است که در آزمایش دوم، هم وزن را دو برابر کرده ایم و هم سطح تماس را. در نتیجه، نیرویی که به هر بخش از سطح تماس وارد می شود مانند حالت اول است. کمیتی که ما در اینجا با آن سروکار داریم، اندازه نیروی عمودی وارد بر واحد سطح است که **فشار** نامیده می شود. اگر اندازه نیروی عمود بر سطح A برابر F باشد، فشار وارد بر سطح A با رابطه زیر تعریف می شود.

$$P = \frac{F}{A} \quad (۲-۵)$$

واحد فشار در SI، N/m^2 است که پاسکال (Pa) نامیده می شود. در این رابطه اگر F و A را دو برابر کنیم، فشار P تغییر نمی کند.

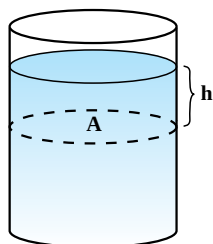
فعالیت ۵-۱۷

چرا پاشنه نوک تیز به کف چوبی اتاق آسیب می رساند؟

۵-۸ محاسبه فشار در مایع ها

برای محاسبه فشار در داخل مایع ها، مایعی را با چگالی ρ در داخل یک ظرف مطابق شکل ۵-۹ در نظر می گیریم. وزن مایعی که در بالای سطح A در عمق h از سطح مایع قرار گرفته است فشاری را در این سطح ایجاد می کند که اکنون به محاسبه آن می پردازیم:

جرم مایع موجود در بالای سطح A برابر است با:



شکل ۵-۹

$$m = \rho V = \rho hA$$

وزن این بخش از مایع برابر با ρhAg است. در نتیجه، فشار حاصل از مایعی که در بالای A

$$P = \frac{\rho hAg}{A}$$

قرار دارد در این عمق برابر است با:

$$P = \rho gh \quad (۳-۵)$$

مثال ۵-۲

در داخل ظرف شکل ۵-۹ به ارتفاع 20 cm آب ریخته ایم. فشار ناشی از مایع در ته ظرف چقدر است؟

پاسخ:

$$P = \rho gh = 1000 \times 9.8 \times 0.2 = 1960 \text{ Pa}$$

رابطه ۵-۳ نشان می دهد که فشار ناشی از مایع ساکن فقط به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و نقاط هم عمق، هم فشارند. همچنین، هرچه عمق بیشتر شود فشار مایع افزایش می یابد. این امر را در هنگام شنا کردن در زیر آب حس می کنیم.

فعالیت ۱۸-۵

یک قوطی خالی را انتخاب و آن را در عمق‌های مختلف سوراخ کنید. سپس آن را پر از آب کنید. مشاهده‌های خود را توجیه کنید.

رابطه ۵-۳ را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. یعنی، اگر گاز در داخل محفظه‌ای محبوس باشد، فشار ناشی از وزن گاز از این رابطه به دست می‌آید. ولی، چون چگالی گازها خیلی کم است، هنگامی که ارتفاع گاز داخل محفظه کوچک است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه، فشار را در این موارد می‌توان در تمام نقاط گاز یکسان در نظر گرفت.

۵-۹ فشار هوا

هوا گازی است که اطراف کره زمین را اشغال کرده است و در زندگی جانداران و گیاهان نقش اساسی و حیاتی دارد. در اثر وجود هوا پدیده‌های متفاوتی در سطح زمین ایجاد می‌شود که در این بخش و بخش‌های بعد به بررسی برخی از آنها می‌پردازیم. در بخش قبل دیدیم که فشار ناشی از وزن گاز، در مواردی که ارتفاع آن کم است، ناچیز است. در مورد جو زمین ارتفاع هوا زیاد است و فشار ناشی از آن قابل ملاحظه است. این فشار، فشار هوا نامیده می‌شود.

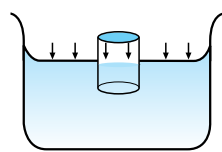
فعالیت ۱۹-۵

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

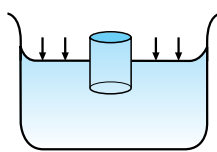
آزمایش ۱۴-۵

وسایل لازم: یک لیوان، یک ظرف

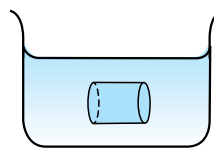
در ظرفی آب بریزید و لیوان را مطابق شکل الف در داخل ظرف قرار دهید. سپس در حالی که دقت می‌کنید هوا به داخل لیوان وارد نشود، انتهای آن را مطابق شکل ب بیرون آورید. مشاهده خود را یادداشت کنید. سپس لیوان را به صورت وارونه مطابق شکل پ وارد آب کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ توجیه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.



(پ)



(ب)



(الف)

در این آزمایش مشاهده می کنید که در حالت اول آب مطابق شکل ب درون لیوان باقی می ماند. چه عاملی مانع پایین آمدن آب در لیوان وارونه می شود؟ هوا به سطح آب درون ظرف نیرو وارد می کند و آب را در درون لیوان نگاه می دارد. در شکل پ، هوای داخل لیوان که خارج نشده است نیز به سطح آب نیرو وارد می کند و مانع بالا رفتن آن می شود. در واقع اگر به طریقی می توانستیم هوای داخل لیوان را خالی کنیم، آب در داخل لیوان بالا می رفت.

فعالیت ۲۰-۵

هنگامی که با نی آب می نوشیم، چرا آب از نی بالا می آید؟

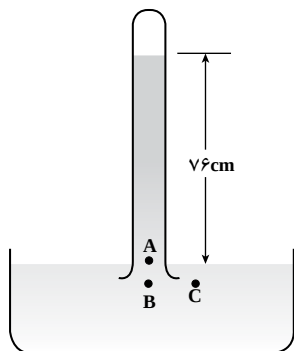
فعالیت ۲۱-۵

آزمایش ۴-۵ را با یک لیوان پلاستیکی انجام دهید. اگر در حالت (ب) ته لیوان را سوراخ کنید چه اتفاقی می افتد؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

آزمایش ۵-۵

وسایل لازم: یک لوله آزمایش بلند (در حدود یک متر)،

یک ظرف حاوی جیوه



لوله را پراز جیوه کنید و در حالی که سر آن را با انگشت مسدود کرده اید، لوله را وارونه کنید و درون ظرف حاوی جیوه فرو برید و انگشت خود را از آن دور کنید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید. (چون جیوه سمی است و ممکن است جذب پوست شود، آزمایش را با یک دستکش پلاستیکی انجام دهید.)

در این آزمایش نیز جیوه درون لوله آزمایش وارونه باقی می ماند. ولی برخلاف آزمایش ۴-۵ که در آن آب تمام لیوان وارونه را پُر می کرد، در اینجا قسمتی از بالای لوله وارونه خالی می ماند. چون در حین آزمایش مانع وارد شدن هوا به داخل لوله آزمایش شده ایم، در این قسمت خلأ خواهیم داشت. اگر این آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه ۷۶ سانتی متر خواهد شد. اگر آزمایش در محلی که بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد شد.

نتیجه این آزمایش به سطح مقطع لوله آزمایش بستگی ندارد. یعنی اگر سطح مقطع لوله را تغییر دهیم (مثلاً اندازه آن را دو برابر کنیم) ارتفاع ستون جیوه تغییر نخواهد کرد. (چرا؟)

اکنون می‌توانید فشار هوا را در سطح دریای آزاد تعیین کنید. در این محل، همان‌طور که در آزمایش ۵-۵ دیدیم، ارتفاع ستون جیوه داخل لوله وارونه در شکل (آزمایش ۵-۵) برابر ۷۶ سانتی‌متر است. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می‌کند برابر با فشار هوا در روی سطح جیوه در داخل ظرف است. زیرا، در غیر این صورت فشار در نقطه‌های هم عمق B و C در این شکل متفاوت خواهد بود و مایع بین این دو نقطه جریان خواهد یافت و چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید فشار در سطح A و سطح جیوه در داخل ظرف برابر باشند. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می‌کند، با استفاده از رابطه ۵-۳ و جدول ۵-۱ برابر است با:

$$P = \rho gh = 13600 \times 9/81 \times 0/76 = 1/01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

این فشار یک اتمسفر (atm) نامیده می‌شود. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با $1/01 \times 10^5 \text{ Pa}$ یا یک اتمسفر است. متداول است که به جای محاسبه ρgh فشار را برحسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً برحسب میلی‌متر) بیان می‌کنند. بنابراین، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه (mmHg) است.

با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا کاهش می‌یابد. رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است. ولی می‌توان نشان داد که تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر ۱۰ m یک میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد.

مثال ۵-۳

شهر تهران به طور متوسط در ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح آزاد دریا قرار دارد، فشار هوا در آن چند میلی‌متر جیوه و چند پاسکال است؟

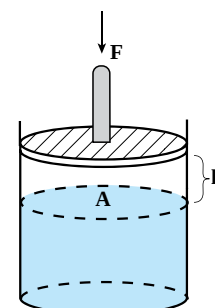
پاسخ: دیدیم که به ازای هر ۱۰ m یک میلی‌متر جیوه از فشار هوا کم می‌شود، در نتیجه، فشار هوا در تهران ۱۴۰ میلی‌متر جیوه از فشار هوا در سطح آزاد دریا کمتر است. یعنی 620 mmHg یا 140 mmHg است. 82633 Pa $0/620 \times 13600 \times 9/81$ فشار هوا در تهران

فعالیت ۵-۲۲

آیا آزمایش ۵-۵ را می‌توان با آب انجام داد و فشار هوا را تعیین کرد؟

۵-۱۰ محاسبه فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا

در بخش (۵-۸) فشار ناشی از مایع را در عمق h محاسبه کردیم. در این بخش فشار مایع را هنگامی که یک نیروی خارجی اضافی، مثلاً نیروی ناشی از فشار هوا، به سطح مایع وارد می‌شود محاسبه می‌کنیم. برای این کار پیستونی را مطابق شکل ۵-۱۰ بر روی مایع قرار می‌دهیم فرض کنید نیروی F به پیستون وارد می‌شود.



شکل ۵-۱۰

در این حالت، نیروی وارد بر سطح مایع در این عمق برابر است با وزن مایع در بالای این سطح (ρghA) به علاوه نیروی F . در نتیجه، فشار در این عمق برابر است با:

$$P = \frac{\rho ghA + F}{A}$$

$$P = \rho gh + \frac{F}{A} \quad (4-5)$$

یعنی، با اعمال نیروی F ، فشار در تمام نقاط مایع به اندازه $\frac{F}{A}$ افزایش می‌یابد.

مثال ۴-۵

فرض کنید که در مثال ۲-۵ یک پیستون با جرم ناچیز بر روی آب قرار دهیم و یک وزنه 200 کیلوگرمی بر روی آن بگذاریم. فشار مایع (ناشی از وزنه و وزن مایع) در ته ظرف چقدر است؟ فرض کنید که سطح مقطع پیستون 200 cm^2 است. **پاسخ:** با استفاده از رابطه ۴-۵ داریم:

$$P = \rho gh + \frac{F}{A}$$

$$= 1960 + \frac{200 \times 9.8}{200 \times 10^{-4}} = 99960 \text{ Pa}$$

مشاهده می‌شود که در این مثال عمده فشار از وزنه 200 کیلوگرمی حاصل شده است.

اگر در شکل ۹-۵ در بالای مایع هوا وجود داشته باشد، به سطح آزاد مایع نیرو وارد می‌کند و در نتیجه فشار حاصل از آن، که همان فشار هواست، را نیز باید در رابطه ۳-۵ منظور کنیم. بنابراین، با استفاده از رابطه ۴-۵ داریم:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (5-5)$$

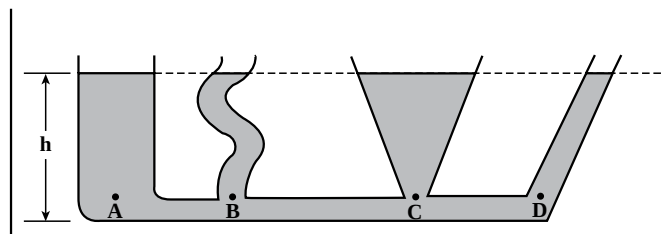
این فشار، فشار کل و یا فشار مطلق در عمق h از سطح مایع نامیده می‌شود. از این به بعد هر جا که در مورد فشار مایع یا گاز صحبت می‌شود، منظور فشار کل است.

تمرین ۱-۵

الف) فشار ناشی از آب در عمق 4 متری یک استخر چقدر است؟
ب) فشار کل در این عمق چقدر است؟

مثال ۵-۵

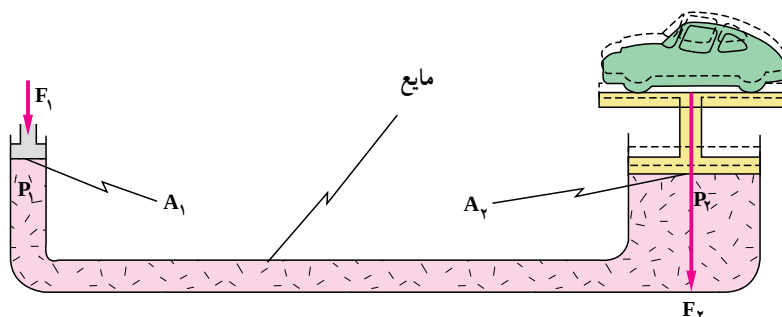
همان‌طور که در شکل صفحه بعد نشان داده شده است، ظرف‌های مختلف به یکدیگر متصل شده‌اند. در این ظرف مایع می‌ریزیم. سطح آزاد مایع در تمام ظرف‌ها در یک ارتفاع قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه ۵-۵ علت این امر را توضیح دهید.



پاسخ: اگر سطح آزاد مایع در این ظرف‌ها در یک ارتفاع نباشند، بر طبق رابطه ۵-۵ باید فشار مایع در نقاط A، B، C و D متفاوت باشد و این امر باعث می‌شود که مایع جریان یابد. چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید سطح‌های آزاد هم ارتفاع باشند.

ملاحظه می‌شود که در رابطه ۵-۴ فشار مایع در تمام نقاط به اندازه $\frac{F}{A}$ افزایش یافته است. به همین ترتیب در رابطه ۵-۵ فشار تمام نقاط مایع به اندازه فشار هوا افزایش یافته است. این نتیجه‌ها نمونه‌هایی از کاربرد اصل پاسکال است. بر طبق این اصل فشار وارد بر مایع محصور بدون کاهش به تمام قسمت‌های مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. یکی از کاربردهای مهم اصل پاسکال، بالابر هیدرولیکی است.

فناوری و کاربرد

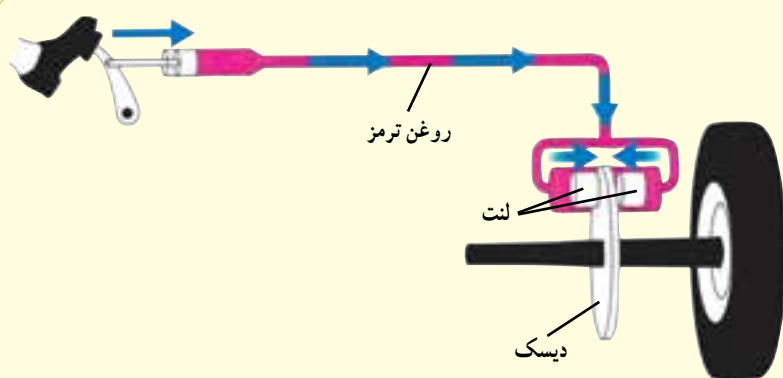


بالابر هیدرولیکی: از این بالابر برای بالا بردن اجسام سنگین، مثلاً اتومبیل (برای پنچرگیری و یا تعویض چرخ‌ها)، استفاده می‌شود. طرح ساده این بالابر در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. هنگامی که نیروی F_1 برابر با

وزن اتومبیل به پیستون سمت راست وارد می‌شود، بنابر اصل پاسکال فشار حاصل از آن که برابر $\frac{F_1}{A_1}$ است به تمام نقاط مایع، از جمله به سطح زیر پیستون سمت چپ، منتقل می‌شود. برای فکشی‌کردن نیروی حاصل از آن باید نیروی F_2 به این پیستون وارد شود. فشار حاصل از این دو نیرو باید با یکدیگر برابر باشند. در نتیجه:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

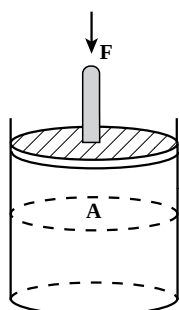
بر طبق این رابطه اگر A_2 خیلی بزرگ‌تر از A_1 باشد، F_2 نیز باید بسیار بزرگ‌تر از F_1 باشد. در نتیجه، می‌توان اجسام سنگین را با نیروی کمی بالا برد.



در شکل روبه رو دستگاه ترمز خودرو نشان داده شده است. توضیح دهید که این دستگاه چگونه عمل می کند.

۵-۱۱ فشار در گازها

در حالی که با انگشت خود دهانه یک سرنگ را بسته اید، با حرکت پیستون آن هوای داخل سرنگ را فشرده کنید. چه حس می کنید؟ در هنگام باد کردن لاستیک دوچرخه، چرا رفته رفته انجام این کار مشکل تر می شود؟ چرا وقتی پیچ باد دوچرخه را شل می کنیم، باد آن خالی می شود؟ مثال های بالا و مثال های مشابه نشان می دهند که هوای داخل سرنگ و لاستیک ها دارای فشارند. در این حالت ها فشار را چگونه می توان محاسبه کرد؟ برای انجام این کار گازی را در نظر می گیریم که مطابق شکل (۵-۱۱) داخل یک محفظه قرار دارد و از طریق پیستون نیروی F به آن وارد می شود. فشاری که این نیرو در زیر پیستون ایجاد می کند، برابر با $\frac{F}{A}$ است. بر طبق اصل پاسکال این فشار بدون کاهش به تمام قسمت های گاز و دیواره های ظرف منتقل می شود. بنابراین، با توجه به این که فشار ناشی از وزن گاز ناچیز است، فشار گاز در داخل ظرف با رابطه زیر داده می شود:



شکل ۵-۱۱

$$P = \frac{F}{A} \quad (۵-۶)$$

آیا اکنون می توانید به پرسش هایی که در ابتدای این بخش ذکر شد پاسخ دهید؟

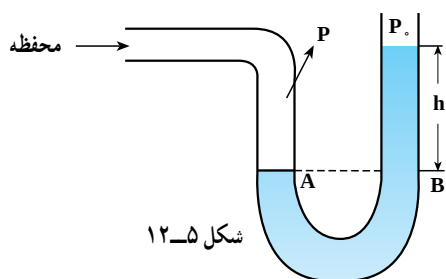
فعالیت ۵-۲۳

با دست خود خروجی یک تلمبه برای باد کردن چرخ دوچرخه را مسدود و هوای داخل آن را فشرده کنید. فشار گاز داخل تلمبه را برآورد کنید.

برای اندازه گیری فشار گاز از فشارسنج استفاده می شود.

فشارسنج: برای اندازه گیری فشار داخل یک محفظه آن را به یک لوله U شکل مطابق شکل (۵-۱۲) وصل می کنیم.

لوله حاوی یک مایع (معمولاً جیوه) با چگالی ρ است. اختلاف فشار هوا و فشار گاز داخل محفظه باعث می شود که مایع از دو طرف لوله U شکل در یک سطح قرار نگیرند. از اختلاف سطح آنها می توان این اختلاف فشار را به دست آورد. فرض



شکل ۵-۱۲

کنید P فشار هوا و P فشار گاز داخل محفظه است. چون فشار مایع در نقاط A و B یکسان است (چرا؟)، اختلاف فشار P_0 و P برابر با فشار حاصل از ارتفاع h از مایع است، یعنی:

$$P - P_0 = \rho gh \quad (۷-۵)$$

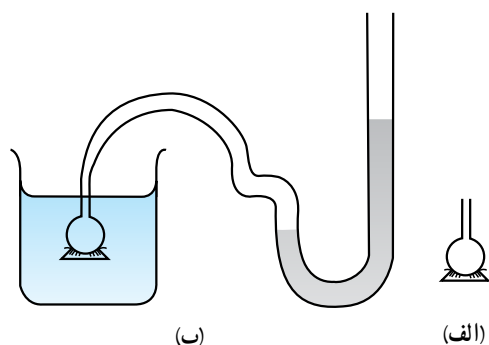
با اندازه‌گیری h می‌توان مقدار ρgh را محاسبه کرد. این کمیت، که برابر اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوا است، **فشار پیمانه‌ای** نامیده می‌شود. در اندازه‌گیری فشار خون و یا فشار هوای داخل لاستیک‌های اتومبیل فشار پیمانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. (به‌عنوان مثال، فشار پیمانه‌ای هوای داخل تایر در لاستیک اتومبیل در حدود 220 kPa است). برای به‌دست آوردن فشار کل باید فشار پیمانه‌ای را با فشار هوا جمع کرد. (یعنی فشار کل هوای داخل تایر در حدود 320 kPa است).

فعالیت ۵-۱۴

با استفاده از یک سرنگ و یک لوله باریک قابل خم کردن مانند نی نوشابه یا شیلنگ کولر و... یک فشارسنج بسازید. فشار گاز داخل سرنگ را با استفاده از آبی که داخل لوله می‌ریزد اندازه‌گیری کنید.

آزمایش ۵-۴

وسایل لازم: فشارسنج، قیف، پوسته قابل ارتجاع



به انتهای یک قیف یک پوسته قابل ارتجاع (مثلاً بادکنک) را مطابق شکل الف وصل کنید و انتهای دیگر قیف را مطابق شکل ب به فشارسنج متصل کنید.

با وارد کردن قیف در داخل مایع می‌توانید فشار مایع را اندازه‌گیری کنید. با انجام این آزمایش: ۱- چگونگی بستگی فشار به عمق ۲- یکسان بودن فشار در نقاط هم‌عمق را تحقیق کنید. همچنین، تحقیق کنید که آیا فشار در هر نقطه در مایع به جهت‌گیری پوسته در آن نقطه بستگی دارد یا خیر؟

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اندازه نیروی وارد بر پوسته به جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به فشار در مکانی که پوسته در آن قرار دارد وابسته است. یعنی، در یک عمق معین اندازه نیروی وارد بر پوسته در حالتی که در وضعیت افقی قرار دارد و در حالتی که به‌صورت قائم قرار گرفته است یکسان است.

کمال الدین حسن فارسی

حسن بن علی بن حسن ملقب به کمال الدین فارسی ریاضیدان و فیزیکدان ایرانی در حدود سال ۶۴۵ هـ.ش، در فارس به دنیا آمد. کمال الدین فارسی تمام روزگار جوانی خود را به سفر و حضور در مکاتب استادان ریاضی و نجوم گذراند. سال‌های متوالی در اصفهان از محضر استادان بزرگی بهره برد. پس از آن به تحقیق و تدریس در شهرهایی چون تبریز پرداخت و تا پایان عمر به فعالیت‌های علمی خود در شهر تبریز ادامه داد. وی در روزگار خود و پس از آن به عنوان فیزیکدان، ریاضیدان و منجم مشهور بود و نیز به تدریس این علوم در شهر تبریز اشتغال داشت، همچنین به مطالعه آثار دانشمندان گذشته از جمله یونانیان و مسلمانان به ویژه درباره علم فیزیک، ریاضی و نجوم علاقه‌مند بود.

کمال الدین فارسی در علم فیزیک به علم پرسپکتیو (مناظر و مرایا) به ویژه به نورشناسی (اپتیک) توجه خاصی داشته است. او سهم بزرگی در دانش اپتیک یا فیزیک نور و موضوع نظریه اعداد در ریاضی داشته است. آثار کمال الدین در زمینه فیزیک نور، حاصل پرسش‌هایی بود که او در مورد بازتابش نور در ذهن داشت که در این زمینه کنکاش و مطالعه در کتاب فیزیک نور **ابن هیثم** به او کمک بسیاری کرد. کتاب معروف او در علم فیزیک نور به نام «**تنقیح المناظر**» است. این کتاب مهم‌ترین تألیف وی در نورشناسی و کتابی بدیع و پرجامع است. فارسی در آثار خود نور را چنین تشریح کرده است: «نوری که از ماده درخشان ساطع می‌شود، حقیقتاً از جنس گرما و آتش می‌باشد، چون اگر نور خورشید را به آیینه کاو بتابانیم، در یک نقطه متمرکز شده و اگر در آن موضع، جسم اشتعال‌زا باشد، شروع به سوختن می‌کند.» (بعدها **کریستیان هویگنس** و **ماکسول** نیز این نظریه را بازگو کردند).

از دیگر آثار وی در زمینه فیزیک، کتاب «اساس القواعد فی اصول الفوائد» می‌باشد که پنج نسخه خطی از آن در استانبول موجود است و یک نسخه خطی در کتابخانه آستان قدس رضوی می‌باشد.

کمال الدین فارسی برای نخستین بار در اثبات نظریه‌های خویش، از قوانین و قضیه‌های هندسه در فیزیک نور بهره برد. این عمل در آن وقت بسیار نو بود و در فعالیت‌های علمی ارزش فراوانی داشت. یکی دیگر از کارهای وی، ساختن تاریک‌خانه و تاباندن نور از روزنه و منفذ بود که ۲۷۰ سال بعد، **رنه دکارت** دانشمند اهل فرانسه آن را تکرار کرد.

کمال الدین فارسی نخستین دانشمندی بود که تئوری خطای چشم را توضیح داد و برای حل این موضوع، استفاده از عدسی‌های گوناگون را ارائه کرد. این تئوری جالب و بی‌نظیر باعث شد که پس از آن در سده نوزده میلادی در قواعد عکاسی و ساخت تلسکوپ‌ها و میکروسکوپ‌ها از عدسی‌ها استفاده شود.

کمال الدین فارسی پیش از ماکسول گفته بود: «هرگاه نور به طور مایل از محیطی به محیط شفاف دیگری داخل شود، می‌توان حرکت آن را نتیجه دو حرکت دانست: یکی حرکت در جهت عمودی و حرکت دیگر در جهتی که عمود بر عمود اول است.» اما نکته مهم این است که در گذشته ترجمه لاتین کتاب «**تنقیح المناظر**» کمال الدین فارسی به کتابخانه‌های اروپا راه یافته است، ولی بسیاری از نظریه‌ها و تجربه‌های کمال الدین از کتاب‌ها و زبان دانشمندان غربی سر درآورده است.

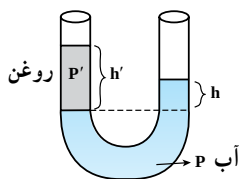
کمال الدین فارسی در نوزدهم ذی‌قعدة سال ۶۹۸ هجری شمسی در شهر تبریز درگذشت.

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 به شما داده شده و ادعا می شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۳ چرا پوتز راحت تر از میخ به داخل چوب فرو می رود؟
- 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 فشار هوا را در محلی که زندگی می کنید برآورد کنید.

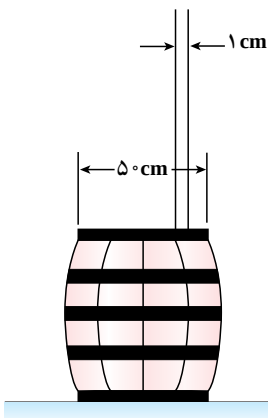
مسائل فصل پنجم

- ۱ فشاری را که در هنگام ایستادن در روی زمین ایجاد می کنید برآورد کنید.
- ۲ 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.)
- ۳ در چه عمقی از دریا فشار 1° برابر فشار جو در سطح دریا است؟ (چگالی آب دریا را 1150 kg/m^3 فرض کنید).
- ۴ اختلاف فشار ناشی از اختلاف ارتفاع بین مغز و پای شخصی به بلندی $1/83 \text{ m}$ چقدر است؟ چگالی خون 1060 kg/m^3 است.
- ۵ 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؟



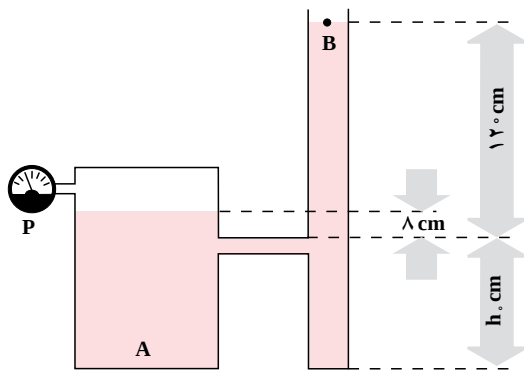
- ۶ طول و عرض و ارتفاع یک اتاق $3/5 \text{ m}$ ، $4/2 \text{ m}$ و $2/4 \text{ m}$ است. (الف) وزن هوای درون اتاق در فشار 1 atm و دمای 0°C چقدر است؟ (ب) نیروی وارد از هوای داخل اتاق بر کف آن چقدر است؟
- ۷ در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته ایم. (الف) نشان دهید:

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



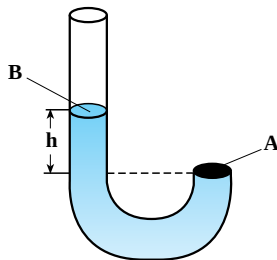
- که در آن ρ' چگالی روغن و ρ چگالی آب و h' ارتفاع ستون روغن است.
- (ب) چگونه می توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.

- ۸ آزمایش شکل روبه رو را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به

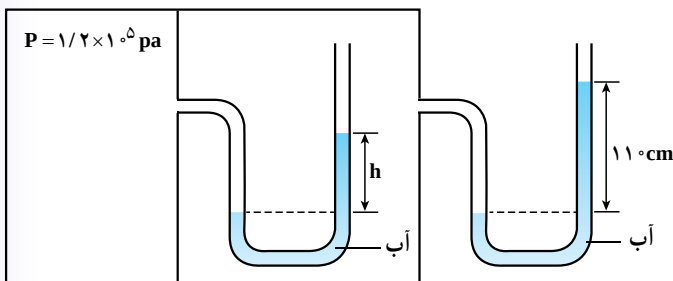


بشکته ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به $15/3$ متر رسید درپوش بشکته در رفت. اگر قطر درپوش 5°cm باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله 1cm است.

۹ اگر در مخزن شکل روبه رو آب بریزیم، وقتی سطح مایع از h بالاتر می رود، هوا در داخل ظرف A به دام می افتد. اگر سطح مایع در ظرف A، 8cm بالاتر از h و در B، 12°cm بالاتر از h باشد: الف) فشارسنج چه عددی را نشان می دهد؟ (این فشارسنج فشار پیمانه ای را اندازه گیری می کند.) ب) فشار کل گاز محبوس چقدر است؟



۱۰ در شکل روبه رو 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 می شود؟



۱۱ در شکل روبه رو مقدار h چند سانتی متر است؟ فشار هوا را $1 \times 10^5 \text{Pa}$ و چگالی آب را 1g/cm^3 بگیرید.

۱۲ در سال ۱۹۳۴ یک زیردریایی فولادی تا عمق ۹۲۳ متری اقیانوس پایین رفت. این زیردریایی پنجره ای به قطر 5m داشت. اگر بزرگی فشار در این عمق $9/3 \times 10^6 \text{N/m}^2$ بوده باشد، نیروی وارد بر سطح خارجی پنجره چقدر بوده است؟



گرما و قانون گازها

کویر هم بسیار زیباست هر چند در آن باران به ندرت می‌بارد! پس از بارش باران و تابش دوبارهٔ خورشید بر پهنهٔ کویر، جلوه‌های زیبایی در آن پدید می‌آید. تبخیر آب موجود در لایهٔ سطحی خاک کویر، موجب کاهش حجم و ایجاد ترک‌های بی‌شکل و بدیعی در آن می‌شود.



کویر لوت

چرا وقتی قطعه یخی را درون یک لیوان آب می اندازیم، آب سرد می شود؟ چه چیز باعث خشک شدن لباس های مرطوب روی بند می شود؟ عامل اصلی ایجاد باد و جریان هوا چیست؟ پاسخ این سؤال ها و بسیاری از سؤال 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 نهان ذوب و تبخیر می پردازیم. علاوه بر این اثر تغییر دما بر طول و 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 شرح می دهیم.

۱-۶ دما، انرژی درونی و گرما

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که دما معیاری است که میزان سردی و گرمی جسم ها را مشخص می کند.

فعالیت ۱-۶

در فصل ۱ گفتیم برای آن که تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید یکای آن، روش و ابزار اندازه گیری آن مشخص شود. دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی برای آن یک روش اندازه گیری بنویسید، یکای آن را مشخص کنید و ابزار اندازه گیری آن را توضیح دهید. (برای این کار می توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.) عیب ها و مزیت های روش و ابزار اندازه گیری ای را که معرفی کرده اید بنویسید.

تعریف دما به صورتی که با انجام این فعالیت ارائه کرده اید، یک **تعریف عملیاتی** نامیده می شود. یکای دما: همان گونه که با انجام فعالیت بالا، بیان کرده اید، یکای دما درجه سلسیوس^۱ است، که با نماد C نمایش داده می شود. دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با θ نشان می دهند. **مقیاس دمای مطلق (یا کلوین):** در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین^۲ را به کار می برند که با نماد K نمایش داده می شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می دهند. صفر کلوین تقریباً برابر 273°C است^۳. به این ترتیب برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین باید مقدار دما بر حسب سلسیوس را با ۲۷۳ جمع کرد، یعنی:

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273 \quad (1-6)$$

۱- درجه بندی سلسیوس را نخستین بار منجم سوئدی آنדרس سلسیوس در سال ۱۷۲۱ هجری شمسی به کار برد.

۲- این مقیاس دما را ویلیام تامسون (لرد کلوین)، فیزیک و ریاضی دان اسکاتلندی که در سال های ۱۲۰۳ تا ۱۲۸۶ (از ۱۸۲۴ تا

۱۹۰۷ میلادی) هجری شمسی می زیست طرح ریزی کرد.

۳- صفر کلوین به طور دقیق تر برابر 273.15°C است، ولی برای محاسبه های این کتاب همان مقدار تقریبی 273°C مناسب است.

تمرین ۱-۷

دمای ذوب یخ، °C و دمای جوش آب، °C ۱۰۰، و دمای بدن انسان سالم، °C ۳۷، هر یک برابر چند کلون است؟

مثال ۱-۷

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در هر دو مقیاس سلسیوس و کلون با هم برابر است.

پاسخ: داریم:

$$\begin{aligned} \Delta T(K) \quad T_r(K) \quad T_l(K) \\ [0_r(C) \quad 273] \quad [0_l(C) \quad 273] \\ \theta_r(C) \quad \theta_l(C) \end{aligned}$$

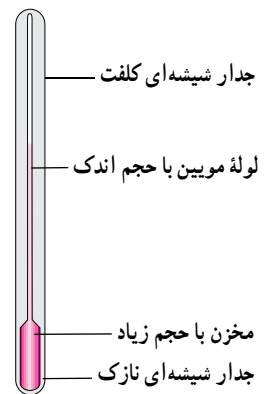
در نتیجه:

$$\Delta T(K) \quad \Delta \theta(C) \quad (2-6)$$

دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی): در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با دماسنج جیوه‌ای و الکلی (شکل ۱-۶) و همچنین طرز مدرج کردن آنها آشنا شدید. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم باید دماسنج را در تماس با آن جسم قرار دهیم به گونه‌ای که مخزن دماسنج در تماس کامل با آن باشد. مدتی (حدود دو الی سه دقیقه) صبر می‌کنیم تا ارتفاع مایع در لوله دماسنج دیگر تغییر نکند. عددی را که در مقابل سطح مایع در لوله ثبت شده است می‌خوانیم. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد. **تعبیر مولکولی دما:** آنچه تاکنون درباره دما گفته‌ایم به تعریف عملیاتی آن مربوط می‌شود. در مبحث‌های تخصصی فیزیک تعبیری برای دما وجود دارد که می‌توانیم آن را با مراجعه به تعریف انرژی درونی دریابیم. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که:

الف) انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل دهنده آن از جمله انرژی جنبشی این ذره‌هاست.

ب) افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود. از این‌جا تعبیر مولکولی زیر برای دما ارائه می‌شود. **دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های سازنده آن.**



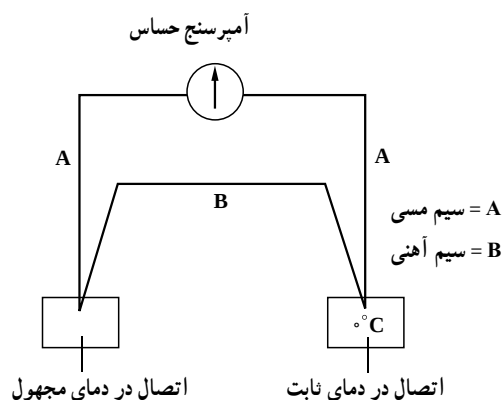
شکل ۱-۶- دماسنج جیوه‌ای

آزمایش ۱-۷

وسایل لازم: دو تکه سیم فلزی غیر هم جنس A و B (برای مثال سیم A مسی و سیم B آهنی)، یک آمپرسنج حساس (میلی آمپرسنج یا میکروآمپرسنج)، سه پایه، شعله پخش کن، چراغ گازی یا الکلی، یک ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک سطل کوچک برای یخ، مقداری یخ، یک دماسنج جیوه‌ای

۱- با سیم‌های فلزی و آمپرسنج مداری مطابق مدار شکل ببندید.

۲- در ظرف شیشه‌ای کمی بیش از نصف آب بریزید و آن را روی سه پایه بالای شعله قرار دهید و یک دماسنج درون آن قرار دهید،



- به طوری که هر وقت لازم باشد بتوانید دمای آب گرم را اندازه بگیرید.
- ۳- سطل را از یخ در حال ذوب پر کنید. دمای یخ در حال ذوب ثابت است. این دما در فشار یک اتمسفر برابر 0°C است.
- ۴- یکی از دو محل اتصال دو فلز را درون یخ در حال ذوب که دمای آن مشخص و ثابت است فرو ببرید.
- ۵- اتصال دیگر را درون ظرف آب گرم که دمای آن را توسط دماسنج درون آب اندازه گرفته اید قرار دهید. با این کار مشاهده خواهید کرد که آمپرسنج عبور جریانی را نشان می دهد.
- ۶- این آزمایش را چند بار تکرار کنید، هر بار آب گرم را در دمای بالاتری به کار برید و شدت جریان حاصل را اندازه بگیرید.
- ۷- یافته های خود را در جدولی وارد کنید.

با انجام این آزمایش درمی یابید که هرچه اختلاف دمای دو اتصال بیشتر باشد، شدت جریان در مدار بیشتر می شود، اگر آزمایش را چندین بار و برای اختلاف دماهای متفاوت تکرار کنید، می توانید شدت جریان مربوط به هر اختلاف دمایی را مشخص کنید. حتی می شود آمپرسنج را به جای شدت جریان برحسب اختلاف دما مدرج کرد و به این ترتیب یک دماسنج ساخت.

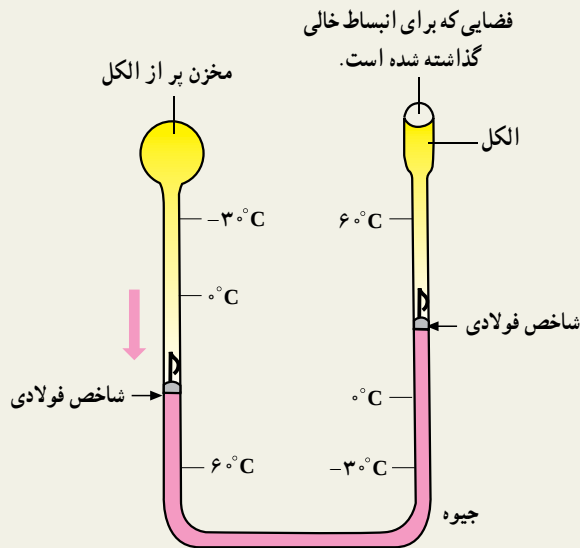
این نوع دماسنج را دماسنج **ترموکوپل** می نامند. دماسنج های ترموکوپل برتری هایی نسبت به دماسنج های دیگر دارند که برخی از آنها در زیر آمده است.

– کوچک بودن اتصال سیم ها باعث می شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه گیری را بالا می برد.

– خروجی این دماسنج، یک علامت الکتریکی (یک جریان) است، به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می شود و این تغییر جریان می تواند مستقیماً یک دستگاه هشداردهنده تغییرات ناگهانی دما را به کار اندازد و یا برای ثبت کردن تغییرات پیوسته دما به کار رود.

– این دماسنج ها نسبت به اختلاف دماهای بسیار کوچک، حتی به کوچکی 1°C حساس اند.

– دماسنج های ترموکوپل را می توان برای اندازه گیری دماهای بالا تا حدود 1500°C به کار برد. برای این کار باید سیم های فلزی A و B را از جنس های خاصی انتخاب کرد که در آن دماها ذوب نشوند.



دماسنج فرینه: این دماسنج نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی است که بیشینه و کمینه دما را در مدت یک شبانه‌روز نشان می‌دهد. ویژگی‌های این دماسنج مطابق شکل روبه‌رو عبارتند از:

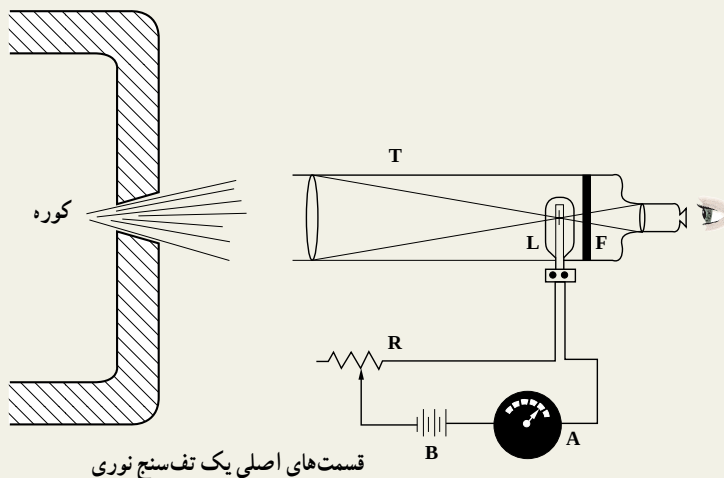
الف) یک شاخص فولادی که روی سطح جیوه در هر طرف لوله U شکل شناور است.

ب) هنگامی که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل (در لوله سمت چپ شکل)، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می‌برد. در این مرحله سطح الکل در لوله سمت راست نیز بالا می‌رود.

پ) در این هنگام محل تماس شاخص لوله سمت راست با جیوه، بالاترین دما، یا دمای بیشینه‌ای را که هوا به آن رسیده است نشان می‌دهد. اگر سطح جیوه در لوله سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد.

ت) هنگامی که الکل به علت کاهش دما، منقبض می‌شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می‌راند. محل تماس شاخص فولادی با جیوه پایین‌ترین دما یا دمای کمینه را نشان می‌دهد. محل این شاخص نیز با گرم‌تر شدن هوا دیگر تغییر نمی‌کند.

ث) با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان ۲۴ ساعت شبانه‌روز به سطح جیوه برگردانده می‌شوند تا برای روز بعد آماده باشند.



قسمت‌های اصلی یک تف‌سنج نوری

تف‌سنج نوری: برای اندازه‌گیری

دماهایی که بیشتر از گستره دماسنج ترموکوپل قرار دارند، از وسیله‌ای به نام تف‌سنج نوری استفاده می‌شود.

همان‌طور که در شکل روبه‌رو دیده می‌شود این وسیله از یک تلسکوپ T، که در لوله آن یک صافی شیشه‌ای F به رنگ قرمز و یک لامپ کوچک L تعبیه شده، تشکیل شده است. اگر تف‌سنج به طرف کوره گرفته شود، شخصی که به داخل تلسکوپ نگاه

می‌کند، رشته تیره لامپ را بر روی زمینه روشن کوره، مشاهده می‌کند. لامپ به باتری B و مقاومت متغیر (رئوستای) R وصل است. با حرکت دادن پیچ رئوستا و کاهش مقاومت آن می‌توان جریان عبوری از مدار را افزایش و در نتیجه روشنایی لامپ را زیاد کرد. مقاومت رئوستا را آن قدر کم می‌کنیم تا روشنایی لامپ درست برابر روشنایی زمینه شود. با استفاده از دستگاهی که قبلاً در دماهای معلوم درجه‌بندی شده، آمپرسنج A را در مدار، می‌توان درجه‌بندی کرد تا مستقیماً دمای مجهول را اندازه بگیرد. در این روش چون لازم نیست که هیچ قسمتی از دستگاه با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، تماس یابد، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقاط ذوب اکثر فلزها استفاده کرد.

گرما و تعادل (ترازمندی) گرمایی : در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما، بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است مبادله می‌شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی‌ای که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، برابر انرژی‌ای است که جسم با دمای پایین‌تر می‌گیرد. این مبادله انرژی تا زمانی که دمای دو جسم یکی شود ادامه می‌یابد. به این ترتیب آیا اگر دو جسم هم‌دما در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرمایی بین آنها مبادله می‌شود؟ روشن است که گرمای خالصی مبادله نمی‌شود. به عبارت کامل‌تر گرمایی که جسم اول به جسم دوم می‌دهد درست برابر گرمایی است که جسم دوم به جسم اول می‌دهد، پس به طور خالص گرمایی مبادله نشده است. در این وضعیت یعنی وقتی گرمایی بین دو جسم مبادله نشود می‌گوییم دو جسم با هم در تعادل گرمایی‌اند و دمای مشترک را **دمای تعادل** می‌نامیم.

برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلزی که دمايش بالاتر است به آب که دمايش پایین‌تر است، شارش می‌کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعه فلز و آب هم‌دما شوند و به دمای تعادل برسند.

تغییر دما — گرمای ویژه : در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر معین در دما را محاسبه کردیم. دیدیم که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم‌های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. از آنجا گرمای ویژه هر جسم را که با نماد c نمایش داده می‌شود به صورت زیر تعریف کردیم :

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

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

$$Q = m\Delta\theta = mc(\theta_f - \theta_i) \quad (3-6)$$

و یا

$$Q = mc\Delta T = mc(T_f - T_i) \quad (4-6)$$

در این رابطه ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، $\Delta\theta$ (تغییر دما) بر حسب درجه سلسیوس و یا ΔT بر حسب کلون است. یکای c با استفاده از رابطه های (۶-۳) و (۶-۴) برابر است با ژول بر کیلوگرم بر درجه سلسیوس یا ژول بر کیلوگرم بر کلون. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول (۶-۱) داده شده است.

جدول ۶-۱- گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم بر کلون

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
آب	۴۲	گرانیت	۸۲
آب دریا	۳۹	مس	۳۸
یخ	۲۱	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵	آلومینیوم	۹
روغن پارافین	۲۱	سدیم	۱۲۴
هیدروژن	۱۴۳	جیوه	۱۵
هوا	۹۹۳	آهن	۳۹
هلیوم	۵۲۴	فولاد	۴۲
اکسیژن	۹۳	سنگ مرمر	۹

مثال ۲-۷

یک سماور حاوی ۲ kg آب 20°C است. گرمای لازم برای افزایش دمای آب تا 100°C را حساب کنید.

پاسخ: افزایش دما برابر است با:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 20 = 80^\circ\text{C}$$

گرمای ویژه آب با استفاده از جدول (۶-۱) برابر است با $4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ در نتیجه با استفاده از رابطه (۶-۳) داریم:

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) = 2 \times 4200 \times 80 = 672000 \text{ J}$$

$$\approx 0.67 \text{ MJ}$$

اگر دمای جسم در اثر مبادله گرما بالا رود، $\theta_2 > \theta_1$ و $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$ و رابطه (۶-۳) مقدار مثبتی برای Q به دست می دهد ($Q > 0$). در حالی که اگر دمای جسم با مبادله گرما کاهش یابد، داریم $\theta_2 < \theta_1$ ، آنگاه $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$ ، و مقداری که برای Q به دست می آید منفی خواهد بود ($Q < 0$). پس می توان گفت که علامت Q در رابطه (۶-۳) مشخص می کند که جسم در یک فرایند تبادل انرژی، گرما گرفته است ($Q > 0$) یا گرما داده است ($Q < 0$). از این پس در این کتاب همواره گرمای گرفته شده را با علامت مثبت و گرمای از دست داده شده را با علامت منفی منظور می کنیم.

مثال ۳-۷

یک قطعه ۱۰۰ گرمی از مس را که دمای آن 90°C است در یک ظرف آب سرد می‌اندازیم، دمای تعادل به 24°C می‌رسد. گرمای مبادله شده را حساب کنید.

پاسخ: داریم $100\text{ g} = 0.1\text{ kg}$ ، 90°C ، 24°C ، θ_2 و گرمای ویژه مس با استفاده از جدول (۶-۱) برابر است با:

$$c = 380\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$$

در نتیجه از رابطه (۶-۳) برای مس، به دست می‌آوریم:

$$Q = mc\Delta\theta = 0.1 \times 380 \times (24 - 90)$$

$$38 \times (66) = 2508\text{ J} \approx 2.5\text{ kJ}$$

علامت منفی Q نشان می‌دهد که مس گرما از دست داده است.

مثال ۴-۷

فرستنده‌ها و گیرنده‌های الکترونیکی درون ماهواره‌ها نیز مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می‌کنند. فرض کنید انرژی‌ای که چنین دستگاهی از سلول‌های خورشیدی متصل به ماهواره دریافت می‌کند 10 W و انرژی‌ای که فرستنده امواج به سمت زمین گسیل می‌کند 3 W باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون و جرم آن $5/0^{\circ}\text{C}$ کیلوگرم باشد. این دستگاه در مدت 100 ثانیه چقدر گرم می‌شود؟ گرمای ویژه سیلیکون $700\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ است.

پاسخ: می‌دانیم $Q/t = P$ ، و از طرفی $Q = mc\Delta\theta$ است. از تلفیق این دو رابطه به رابطه روبرو می‌رسیم:

$$Pt = mc\Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{Pt}{mc}$$

و از آن جا برای افزایش $\Delta\theta$ دما خواهیم داشت:

حال با گذاشتن مقادیر، $\Delta\theta$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta\theta = \frac{(7\text{ J/s})(100\text{ s})}{(0.5\text{ kg})(700\text{ J/kg }^{\circ}\text{C})} = 2^{\circ}\text{C}$$

دمای تعادل: دیدیم که اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند،

پس از مدتی هم دما می‌شوند. دمای تعادل را می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد.

این محاسبه در مثال ۶-۵ انجام شده است.

مثال ۵-۷

یک قطعه 140°C گرمی آلومینیوم را که دمای آن 80°C است در ظرف عایقی که حاوی 250°C گرم 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:

$$m_1 \quad 140 \text{ g} \quad 0/14 \text{ kg} \quad \text{جرم آلومینیوم}$$

$$\theta_1 \quad 80 \text{ C} \quad \text{دمای اولیه آلومینیوم}$$

$$c_1 \quad 900 \text{ J/kg C} \quad \text{گرمای ویژه آلومینیوم}$$

و از جدول (۶-۱)

و همین‌طور برای آب داریم:

$$m_2 \quad 250 \text{ g} \quad 0/25 \text{ kg} \quad \text{جرم آب}$$

$$\theta_2 \quad 22 \text{ C} \quad \text{دمای اولیه آب}$$

$$c_2 \quad 4200 \text{ J/kg C} \quad \text{گرمای ویژه آب}$$

و دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیوم است را با θ نمایش می‌دهیم. با استفاده از رابطه (۶-۳) مقدار گرمایی که آلومینیوم از دست می‌دهد تا به دمای تعادل θ برسد برابر است با:

$$Q_1 \quad m_1 c_1 (\theta - \theta_1) \quad m_1 c_1 \Delta \theta_1$$

و مقدار گرمایی که آب می‌گیرد تا به دمای تعادل برسد برابر است با:

$$Q_2 \quad m_2 c_2 (\theta - \theta_2) \quad m_2 c_2 \Delta \theta_2$$

از قانون پایستگی انرژی داریم:

$$Q_1 \quad Q_2 \quad 0$$

زیرا مجموعه آلومینیوم و آب نه به بیرون گرما داده و نه از بیرون گرما گرفته است. در نتیجه داریم:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) \quad m_2 c_2 (\theta - \theta_2) \quad 0$$

$$0/14 \times 900 \times (\theta - 80) \quad 0/25 \times 4200 \times (\theta - 22) \quad 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود:

$$\theta = 28 \text{ C}$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژه $c_1, c_2, c_3, \dots$ به جرم‌های $m_1, m_2, m_3, \dots$ با دماهای اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ را در تماس کامل با یکدیگر قرار دهیم برای یافتن دمای تعادل θ ، می‌توانیم حاصل جمع گرماهایی را که هریک مبادله کرده‌اند، یعنی $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$ را برابر صفر قرار دهیم، یعنی:

$$Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3 \quad \dots \quad 0 \quad (5-6)$$

و از آنجا معادله‌ای به دست آوریم که دمای تعادل را از آن محاسبه کنیم. به عبارت دیگر:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) \quad m_2 c_2 (\theta - \theta_2) \quad m_3 c_3 (\theta - \theta_3) \quad \dots \quad 0 \quad (6-6)$$

از معادله (۶-۶) می‌توانیم برای یافتن گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم. مثال بعد نحوه محاسبه را نشان می‌دهد.

در ظرف عایقی حاوی 500°C گرم آب 20°C ، یک قطعه مس 100°C گرمی به دمای 50°C و یک قطعه فلز دیگری به جرم 150°C گرم و به دمای $62/5^\circ\text{C}$ که گرمای ویژه آن را نمی‌دانیم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل 22°C باشد، گرمای ویژه فلز را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

پاسخ: با استفاده از داده‌های این مثال و جدول (۶-۱) داریم:

$$m_1 = 500\text{ g}, c_1 = 4200\text{ J/kg }^\circ\text{C}, \theta_1 = 20^\circ\text{C}, m_2 = 150\text{ g}$$

$$m_3 = 150\text{ g}, c_3 = 380\text{ J/kg }^\circ\text{C}, \theta_3 = 50^\circ\text{C}$$

$$m_4 = 150\text{ g}, \theta_4 = 62/5^\circ\text{C}, c_4 = ?$$

$$\theta = 22^\circ\text{C}$$

با درج این داده‌ها در رابطه (۶-۶) داریم:

$$0/5 \times 4200 \times (22 - 20) + 0/1 \times 380 \times (22 - 50) + 0/15 \times c_4 \times (22 - 62/5) = 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود:

$$c_4 \approx 516\text{ J/kg }^\circ\text{C}$$

تمرین ۷-۲

جسمی به جرم 250°C گرم در دمای 3°C را به درون ظرف عایقی حاوی 500°C گرم آب 25°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل 21°C باشد، گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین آب و ظرف چشم‌پوشی کنید.

آزمایش ۷-۲

گرماسنجی — تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج

آزمایش زیر را به‌طور گروهی انجام دهید.

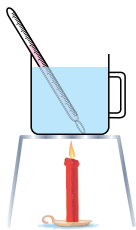
۱- 20°C کیلوگرم آب (m_1) درون فلاسک بریزید و همزن و دماسنج را درون آن قرار دهید و صبر کنید تا آب و فلاسک و همزن به تعادل گرمایی برسند.

۲- در این فاصله 40°C کیلوگرم آب (m_2) نیز درون ظرف شیشه‌ای نسوز بریزید.

۳- ظرف نسوز را مطابق شکل روبه‌رو روی سه پایه بالای چراغ قرار دهید.

۴- چراغ را روشن کنید و آب را تا دمای θ_1 گرم کنید.

۵- دمای آب درون فلاسک θ_1 و آب درون ظرف شیشه‌ای θ_2 را به کمک دماسنج‌هایی که در هریک از این ظرف‌ها قرار دارد اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس آب گرم درون ظرف شیشه‌ای نسوز را (به کمک دستگیره) به درون فلاسک بریزید.



۶- آب درون فلاسک را با همزنی که درون آن است هم بزنید و دمای تعادل (θ) را اندازه گیری و یادداشت کنید.

۷- اگر گرمای ویژه آب را با c_w ، گرمای ویژه فلاسک را با c ، گرمای ویژه همزن را با c_M ، گرمای ویژه دماسنج را با c ، جرم فلاسک را با M ، جرم همزن را با M' و جرم دماسنج را با M'' نمایش دهیم با استفاده از معادله (۶-۶) خواهیم داشت:

$$m_1 c_w (\theta - \theta_1) + m_2 c_w (\theta - \theta_2) + M c (\theta - \theta_1) + M' c_M (\theta - \theta_1) + M'' c (\theta - \theta_1) = 0$$

دقت کنید که دمای اولیه فلاسک و همزن و دماسنج با دمای اولیه آب درون فلاسک برابر است و همین طور هم دمای تعادل برای همه آنها یکسان است.

۸- از رابطه بالا داریم:

$$[M c + M' c_M + M'' c] (\theta - \theta_1) + m_1 c_w (\theta - \theta_1) + m_2 c_w (\theta - \theta_2) = 0$$

۹- در این رابطه تنها عبارت داخل کروشه مجهول است، مقدار آن را به کمک اعدادی که در آزمایش به دست آورده اید، محاسبه کنید. این کمیت را **ظرفیت گرمایی** مجموعه فلاسک و همزن و دماسنج درون آن می نامند و آن را با نماد A نمایش می دهند.

مجموعه فلاسک و همزن و دماسنج درون آن را معمولاً گرماسنج می نامند. با انجام این آزمایش

شما ظرفیت گرمایی گرماسنج را که به صورت زیر تعریف می شود اندازه گرفته اید.

$$A = M c + M' c_M + M'' c$$

ظرفیت گرمایی گرماسنج

آزمایش ۷-۳

تعیین گرمای ویژه یک جسم

۱- ۲۰/۰ کیلوگرم آب (m_1) درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکی شود.

۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید (m_2).

۳- جسم فلزی را درون ظرف شیشه ای نسوز قرار دهید و مقداری آب درون آن بریزید و همزن و دماسنج اضافی را نیز درون ظرف قرار دهید.

۴- ظرف شیشه ای را مطابق شکل آزمایش ۶-۲ روی چراغ بگذارید و چراغ را روشن کنید و آب درون ظرف را به کمک همزن به هم بزنید.

۵- پس از چند دقیقه چراغ را خاموش کنید و همزمان دمای آب درون گرماسنج (θ_1) و دمای آب گرمی را که جسم فلزی در آن است (θ_2) به کمک دماسنج های مربوط اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶- جسم داغ شده را توسط انبرک هرچه سریع تر به درون آب درون فلاسک بیندازید.

۷- آب درون فلاسک را با همزن به هم بزنید و دمای تعادل θ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۸- با استفاده از معادله (۶-۶) داریم:

$$A (\theta - \theta_1) + m_1 c_w (\theta - \theta_1) + m_2 c (\theta - \theta_2) = 0$$

۹- در این رابطه تنها جسم c مجهول است. مقدار آن را به کمک اعدادی که در آزمایش به دست آورده اید، محاسبه کنید.

وسایل لازم: گرماسنج (فلاسک، همزن، دماسنج) با ظرفیت گرمایی معین که قبلاً اندازه گرفته اید، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک کلید)، یک همزن و یک دماسنج دیگر، ترازو، ظرف شیشه ای نسوز، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله پخش کن، یک انبرک، دستگیره

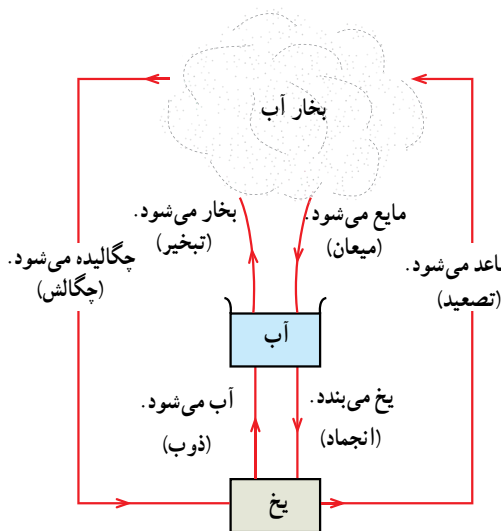
گرمای ویژه یک فلز یا مایع معلوم را اندازه بگیرید. مقداری را که به دست می آورید، با مقدار داده شده در جدول (۶-۱) مقایسه کنید. دلیل اختلاف بین عددی که شما به دست آورده اید و رقمی که در جدول درج شده چیست؟ موضوع را با همکلاسی های خود به بحث بگذارید.

۲-۶ حالت های ماده

همان طور که در فصل ۵ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می شوند. برای مثال H_2O هم به حالت جامد (یخ) و هم به حالت مایع (آب) و هم به حالت گاز (بخار آب) یافت می شود. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می نامند. هر تغییر حالت (در فشار ثابت) در دمای ثابتی صورت می گیرد که آن را **دمای گذار** می نامند. تغییر حالت ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراهند. علاوه بر این حجم و چگالی نیز با تغییر حالت تغییر می کند.

فعالیت ۳-۷

آزمایشی طراحی کنید و انجام دهید که در آن تغییر حجم آب به هنگام انجماد (یخ بستن) و یا تغییر حجم یخ به هنگام ذوب شدن (آب شدن) مشخص شود.



شکل ۲-۶- انواع تغییر حالت های آب

برای مثال در شکل (۶-۶) انواع تغییر حالت هایی که برای آب امکان پذیر است نشان داده شده است.

تبدیل جامد به مایع را **ذوب**، تبدیل مایع به بخار را **تبخیر**، تبدیل مایع به جامد را **انجماد** و تبدیل بخار به مایع را **میعان** می نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به طور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، **تصعید** و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد **چگالش** نام دارد. برای مثال نفتالین در دمای اتاق به طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می شود (تصعید). در صبح های بسیار سرد 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 (چگالش). در ادامه هریک از تغییر حالت ها را به طور جداگانه بررسی می کنیم.

ذوب: پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما بدهیم، دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می شود (دما ثابت می ماند)، و جسم شروع به ذوب شدن می کند (به مایع تبدیل می شود). این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد «دمای ذوب» یا «نقطه ذوب» می نامیم.

افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد، سبب بالا رفتن نقطه ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطه ذوب می‌شود. نقطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجه سلسیوس است.

فعالیت ۷-۴

درباره علت دیرتر آب شدن برف روی قله کوه‌ها تحقیق کنید. نتیجه تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

جدول ۶-۲ نقطه ذوب و گرمای نهان ویژه ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه ذوب (C)	گرمای نهان ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
ازت	-۲۰۹	۲۵/۵
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۴
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

عمل ذوب گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود.

گرمای نهان ذوب، گرمای نهان ویژه ذوب: گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود، بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد. از این رو به این گرما، **گرمای نهان ذوب** می‌گوییم. دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب خود رسیده است، آن را ذوب می‌کند.

گرمای نهان ویژه ذوب (L): یک جامد، برابر است با مقدار انرژی‌ای که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطه ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. یکای گرمای نهان ویژه در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است.

بنابراین گرمای نهان ذوب m کیلوگرم جامد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = mL \quad (۷-۶)$$

گرمای نهان ویژه ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادارها برای برخی از مواد در جدول (۷-۶) داده شده است.

۱- زیرنویس F حرف اول واژه انگلیسی Fus on به معنای ذوب است.

گرمای لازم برای ذوب 10° گرم طلا را محاسبه کنید. فرض کنید که طلا در نقطه ذوب خود باشد.

پاسخ: با استفاده از جدول (۶-۲) داریم:

$$L = 64/5 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$m = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}$$

بنابراین از رابطه (۶-۷) داریم:

$$Q = mL = 0.01 \times 64/5 \times 10^3 = 645 \text{ J}$$

مثبت بودن مقدار گرما نشان دهنده گرماگیر بودن عمل ذوب است.

فعالیت ۷-۵

آزمایشی برای اندازه گیری گرمای نهان ذوب یخ طراحی کنید و آن را انجام دهید.

انجماد: فرایند انجماد وارون فرایند ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. اگر مایعی را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم)، هنگامی که به دمای انجماد یا نقطه انجماد خود می رسد، شروع به جامد شدن می کند. دمای نقطه ذوب یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه انجماد آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به یخ صفر درجه سلسیوس گرما دهیم شروع به ذوب شدن می کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می کند. هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرما از دست می دهد که به هنگام ذوب می گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه انجماد منفی گرمای نهان ویژه ذوب است. به این ترتیب گرمای نهان انجماد m کیلوگرم مایع از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = mL \quad (6-8)$$

علامت منفی نشان دهنده آن است که مایع به هنگام انجماد گرما از دست می دهد.

جوشیدن و تبخیر: وقتی به مایعی گرما می دهیم، دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می شود و دما ثابت می ماند. مایع در این موقع به جوش می آید و تبدیل به بخار می شود. این دمای ثابت را «دمای جوش» یا «نقطه جوش» می نامند. نقطه جوش هر مایع به جنس آن و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش آن می شود.

فعالیت ۷-۴

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.

جدول ۳-۶- نقطه جوش و گرمای نهان ویژه تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه جوش (C)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیوم	-۲۶۹	۲ / ۹
هیدروژن	-۲۵۳	۴۵۲
ازت	-۱۹۶	۲ ۱
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۳
جیوه	۳۵۷	۲۷۲
آب	۱	۲۲۵۶
گوگرد	۴۴۵	۳۲۶
سرب	۱۷۵	۸۷۱
قلع	۱۴۴	۵۶۱
نقره	۲۱۹۳	۲۳۳۶
طلا	۲۶۶	۱۵۸۷
مس	۱۱۸۷	۵ ۶۹

گرمای نهان تبخیر و گرمای نهان ویژه

تبخیر: گرمایی را که یک مایع در نقطه جوش خود می گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود گرمای نهان تبخیر می گویند.

گرمای نهان ویژه تبخیر (L_v) یک مایع، برابر است با مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از آن مایع در دمای نقطه جوش بدهیم تا به بخار در همان دما تبدیل شود. در SI یکای گرمای نهان ویژه تبخیر نیز همانند گرمای نهان ویژه ذوب ژول بر کیلوگرم است.

بنابراین گرمای نهان تبخیر m کیلوگرم مایع از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = mL_v \quad (۹-۶)$$

گرمای نهان ویژه تبخیر و نقطه جوش مایع های مختلف، متفاوت است. این مقادارها برای برخی از مواد در جدول (۳-۶) داده شده است.

مثال ۸-۷

یک کتری برقی را که $1/6 \text{ kg}$ آب دارد روشن می کنیم، از لحظه آغاز جوشیدن، چقدر انرژی برای تبدیل همه آب به بخار مصرف می شود و چقدر طول می کشد تا کتری $2/5$ کیلوواتی همه آب را تبخیر کند؟ (از اتلاف انرژی صرف نظر شود).
پاسخ: از جدول (۳-۶) برای آب داریم:

$$L_v = 2256 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$m = 1/6 \text{ kg}$$

انرژی مصرفی را از رابطه (۹-۶) به دست می آوریم.

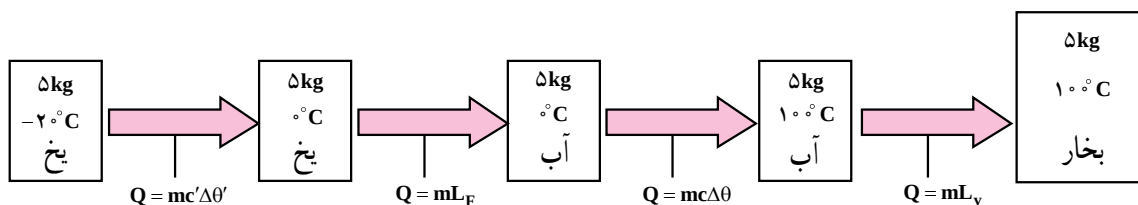
$$Q = 1/6 \times 2256 \times 10^3 = 3610 \times 10^3 \text{ J} = 3610 \text{ kJ}$$

با استفاده از رابطه $P = \frac{Q}{t}$ داریم:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{3610 \times 10^3 \text{ J}}{2/5 \times 10^3 \text{ W}} = 1/44 \times 10^3 \text{ s}$$

مثال ۹-۷

گرمای لازم برای تبدیل 5 kg یخ 20°C به بخار آب 100°C را حساب کنید.
پاسخ: شکل صفحه بعد مراحل تغییر یخ 20°C به بخار آب 100°C و رابطه مربوط به گرمای لازم برای هر تغییر را نشان می دهد.



مقدار کل گرمای لازم برابر مجموع گرمای لازم برای انجام هر مرحله از فرایند است. با استفاده از جدول‌های (۶-۱) و (۶-۲) داریم:

$$Q_{\text{کل}} = m c' \Delta \theta' + m L_F + m c \Delta \theta + m L_v$$

$$= 5 \times 2100 \times [0 - (-20)] + 5 \times 334 \times 10^3 + 5 \times 4200 \times (100 - 0) + 5 \times 2256 \times 10^3$$

با انجام محاسبه به دست می‌آوریم:

$$Q = 1526 \times 10^4 \text{ J} = 15/26 \text{ MJ}$$

میعان: فرایند میعان وارون فرایند تبخیر، یعنی تبدیل بخار به مایع است. اگر مقداری بخار یک ماده را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم). هنگامی که به دمای میعان یا «نقطه میعان» خود می‌رسد، شروع به مایع شدن می‌کند. دمای نقطه میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه جوش آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به آب صد درجه سلسیوس گرما دهیم شروع به جوشیدن می‌کند و نیز اگر در همان فشار از بخار آب صد درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به مایع شدن می‌کند. هر بخار به هنگام میعان همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه میعان منفی گرمای نهان ویژه تبخیر است. به این ترتیب گرمای نهان میعان m کیلوگرم بخار یک ماده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -m L_v \quad (6-10)$$

علامت منفی نشان دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد.

مثال ۱-۴

یک لیوان شیشه‌ای بزرگ به جرم ۱۵ گرم حاوی 200 g آب 20°C است. چند قطعه یخ 0°C ، به جرم 40 گرم به درون لیوان می‌اندازیم، دمای پایانی آب را حساب کنید. گرمای ویژه شیشه را 360 J/kgK بگیرید.

پاسخ: با توجه به آنکه مقدار گرمایی که یخ 0°C می‌گیرد تا به آب 0°C و سپس به آب در دمای تعادل تبدیل شود برابر با مقدار گرمایی است که لیوان شیشه‌ای و آب درون آن از دست می‌دهند تا از 20°C به دمای تعادل برسند. می‌توانیم با در نظر گرفتن m_1 برای لیوان و m_2 برای آب درون آن و برای یخ، بنویسیم:

$$m_1 c_1 (\theta_f - \theta_i) + m_2 c_2 (\theta_f - \theta_i) = m_2 L + m_2 c_2 (\theta_f - \theta_i) \quad (6-11)$$

با استفاده از داده‌های این مثال و جدول‌های (۶-۱) و (۶-۲) داریم:

$$m_1 = 15 \times 10^{-3} \text{ kg}, c_1 = 360 \text{ J/kgK}, \theta_i = 20^\circ \text{C}$$

m_2 جرم آب درون لیوان 200 g ، c_p 4200 J/kgK

θ_2 θ_1 20°C

m_2 40 g ، L گرمای نهان ویژه ذوب یخ $334 \times 10^3\text{ J/kg}$

c_p 4200 J/kgK θ_2 $^\circ\text{C}$

با درج این مقادارها در رابطه (۶-۱۱) و انجام محاسبه به دست می آوریم :

$$\theta = 3/5\text{ C}$$

تبخیر سطحی : پارچه خیزی را روی سنگ فرش پهن کنید. پس از یکی دو ساعت می بینید

کاملاً خشک شده است. آب آن کجا رفته است؟

پاسخ آن است که آب تبخیر شده است. تجربه هایی مانند این نشان می دهند که در سطح آزاد هر

مایع، همواره در هر دمایی عمل تبخیر روی می دهد. این پدیده را تبخیر سطحی می گویند. مایع در اثر

تبخیر سطحی گرمای نهان تبخیر خود را از دست می دهد و در اثر آن دمایش پایین می آید. تجربه نشان

می دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل های مختلفی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

فعالیت ۷-۴

الف) بررسی کنید که تبخیر سطحی با افزایش دما و افزایش سطح مایع سریع تر صورت می گیرد یا کندتر؟

ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه عامل یا عامل های دیگری را که بر آهنگ تبخیر سطحی اثر می گذارند پیدا کنید.

فعالیت ۸-۴

تحقیق کنید و توضیح دهید چرا :

۱- با پوشیدن لباس های تراحتاس سرما می کنید؟

۲- عرق کردن به خنک نگه داشتن بدن کمک می کند؟

۳- هنگامی که دوش می گیرید بخار آب روی شیشه پنجره حمام مایع می شود؟

۶-۳ اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم ها

اکثر اجسام چه جامد، چه مایع و چه گاز به هنگام افزایش دما انبساط می یابند، یعنی حجم آنها

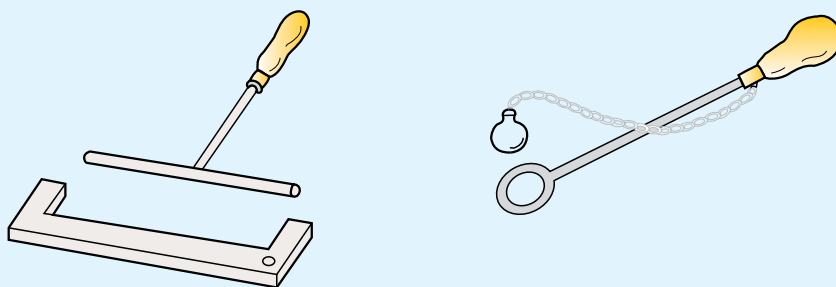
افزایش می یابد و با کاهش دما حجم شان کاهش می یابد. این پدیده که در ساختن برخی وسیله ها مانند

دماسنج ها و دماپاها مورد استفاده قرار می گیرد، می تواند مشکل هایی در ساختن ماشین ها، پل ها،

ساختمان ها و خط آهن ایجاد کند.

مثال هایی از افزایش حجم در اثر افزایش دما را در کتاب های علوم دبستان و راهنمایی دیده اید.

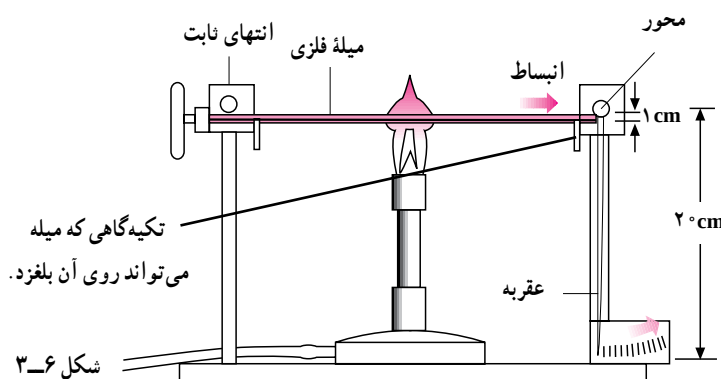
توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل زیر نشان داده شده است، پدیده انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.



وقتی یک ورقه فلزی را گرم می‌کنیم حجم آن زیاد می‌شود، یعنی ضخامت و مساحت سطح آن هر دو زیاد می‌شوند. اگر ضخامت ورقه در مقایسه با ابعاد سطح آن ناچیز باشد، **انبساط سطحی** آن بهتر مشاهده می‌شود. همین‌طور هم درباره یک میله، اگر طول آن در مقایسه با قطر مقطع آن بسیار بزرگ‌تر باشد، **انبساط طولی** آن بهتر دیده می‌شود.

انبساط طولی: برای دیدن انبساط طولی یک میله فلزی می‌توان از دستگاهی که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است، استفاده کرد. وقتی میله فلزی گرم و منبسط می‌شود، عقربه را حول محور می‌چرخاند و انتهای عقربه انبساط طولی میله را چند بار (در شکل 2° بار) بزرگ‌تر نشان می‌دهد و اندازه‌گیری دقیق آن را میسر می‌سازد.

با اندازه‌گیری انبساط طولی میله‌های از جنس‌های مختلف، درمی‌یابید که اندازه انبساط میله‌های فلزی از جنس‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. برای محاسبه انبساط طولی کمیتی به نام ضریب انبساط طولی به صورت زیر تعریف می‌کنیم و آن را با α نمایش می‌دهیم.



ضریب انبساط طولی (α) برابر است با افزایش طول واحد طول ماده به ازای افزایش دمای

یک کلوین.

جدول ۴-۶- ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف انبساط طولی یا تغییر طول (ΔL) یک میله از جنس معین به دو عامل بستگی دارد :

ماده	ضریب انبساط ($\frac{1}{K}$)
آلمینیوم	23×10^{-6}
آجر	9×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
الماس	تقریباً صفر
بتون	12×10^{-6}
آهن	12×10^{-6}
کوارتز	$1/4 \times 10^{-6}$
روی	31×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}

– طول اولیه میله (L_0).

– مقدار تغییر دما (ΔT).

هنگامی که دمای میله‌ای به طول L_0 به اندازه ΔT افزایش یابد، طول آن به اندازه ΔL افزایش می‌یابد. به این ترتیب انبساط یا افزایش طول واحد طول میله برای افزایش

دمای ΔT برابر $\frac{\Delta L}{L_0}$ خواهد بود. افزایش طول واحد طول میله برای افزایش دمای

یک کلوین برابر می‌شود با $\frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$. این همان ضریب انبساط طولی میله (α) است.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (12-6)$$

یکای ضریب انبساط طولی در SI، بر کلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجه سلسیوس

($\frac{1}{^\circ C}$) نام دارد. مقدار افزایش طول ΔL را می‌توان از رابطه (۱۲-۶) به صورت زیر به دست آورد :

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (13-6)$$

ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف با هم تفاوت دارند. ضریب انبساط طولی برخی از ماده‌ها در جدول (۴-۶) داده شده است. توجه کنید که این مقادیر بسیار کوچکند. ولی همین مقادیرهای کوچک هم اثرهای قابل توجهی در ساختمان‌ها و دستگاه‌های مختلف دارد.

مثال ۱۱-۷

انبساط طولی یک پل بتونی به طول 100 m را هنگامی که دما به اندازه $20^\circ C$ افزایش یابد حساب کنید.

پاسخ: از جدول (۴-۶) داریم :

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$$

با استفاده از رابطه (۱۳-۶)، داریم :

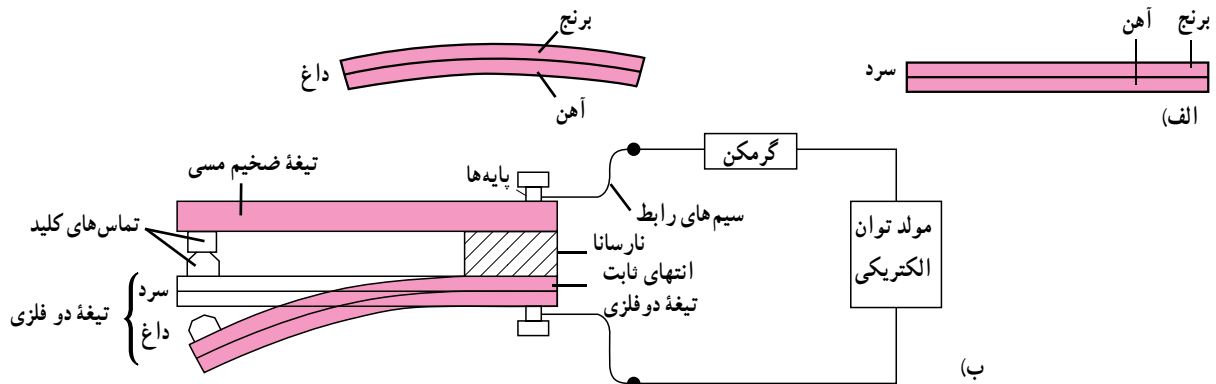
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta \theta$$

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 100 \times 20 = 2/4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

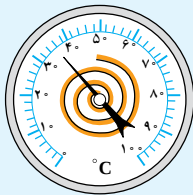
$$\Delta L = 2/4 \text{ cm}$$

اگر در ساختمان پل پیش‌بینی فضای لازم برای این انبساط طولی نشده باشد، همین مقدار انبساط می‌تواند باعث تخریب پل گردد.

دمایا (ترموستات): دمایا از دو تیغه از فلزهای متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا میخ پرچ شده‌اند. در دمای کم ممیص، دمایا، مدار الکتریکی دستگاه گرمکن را، مطابق شکل زیر کامل می‌کند. به علت عبور جریان الکتریکی از گرمکن الکتریکی گرما ایجاد می‌شود و دمای ممیص بالا می‌رود. همان‌طور که در جدول (۶-۱۴) مشاهده می‌کنید ضریب انبساط طولی برنج بزرگ‌تر از آهن است. در نتیجه برنج بیشتر منبسط می‌شود و دمایا به طرف آهن خم می‌شود. وقتی دما به مقدار معینی رسید، تماس دمایا با تیغه مسی قطع شده و مدار الکتریکی باز می‌شود. وقتی دوباره دما کم شود، دمایا به حالت اول برمی‌گردد و مدار بار دیگر متصل می‌شود. در نتیجه وجود دمایا در مدار گرمکن الکتریکی می‌تواند دما را تقریباً ثابت نگه دارد.



فعالیت ۱۰-۶



شکل روبه‌رو دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دو فلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

انبساط سطحی: برای محاسبه انبساط سطحی هم می‌توانیم به روشی مشابه برای هر ماده یک ضریب انبساط سطحی تعریف کنیم.

ضریب انبساط سطحی برابر است با افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد به ازای افزایش دمای یک کلوین. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط سطحی یک جسم تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی آن است. یکای ضریب انبساط سطحی نیز بر کلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجه سلسیوس ($\frac{1}{^\circ C}$) است. اگر سطحی به مساحت A با افزایش دمای ΔT ، افزایش مساحتی برابر ΔA پیدا کرده باشد، داریم:

$$\left(\frac{1}{K}\right) = 2\alpha = \frac{\Delta A}{A_1 \Delta T} \quad (۱۴-۶)$$

و یا:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T \quad (۱۵-۶)$$

انبساط حجمی: برای انبساط حجمی نیز می‌توانیم ضریب انبساط حجمی را تعریف کنیم:

ضریب انبساط حجمی یک ماده نیز برابر است با افزایش حجم واحد حجم ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین. یکای ضریب انبساط حجمی نیز بر کلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجه سلسیوس ($\frac{1}{^\circ C}$) است.

ضریب انبساط حجمی را معمولاً با β نشان می‌دهند. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی یک جامد تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. یعنی $\beta = 3\alpha$. در این جا نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} \quad (۱۶-۶)$$

و یا:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \quad (۱۷-۶)$$

مثال ۷-۱۳

ابعاد یک شمش آلومینیومی در دمای $10^\circ C$ برابر $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ است، حجم این شمش را در دمای $90^\circ C$ حساب کنید.

پاسخ: با استفاده از جدول (۴-۶) داریم:

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$$

$$V_1 = 5 \times 10 \times 20\text{ cm}^3 = 1000\text{ cm}^3$$

$$\Delta \theta = 90 - 10 = 80^\circ C$$

از رابطه (۱۷-۶) داریم:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 69 \times 10^{-6} \times 1000 \times 80 = 5.52\text{ cm}^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \Delta V + V_1 = 1000 + 5.52 = 1005.52\text{ cm}^3$$

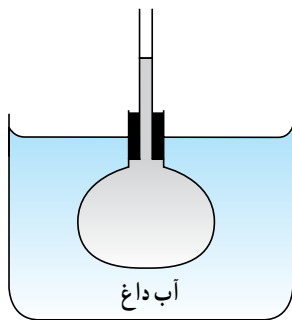
انبساط مایع‌ها: بیشتر مایع‌ها نیز با افزایش دما، افزایش حجم پیدا می‌کنند. انبساط مایع‌ها اساس کار دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی را تشکیل می‌دهد. ضریب انبساط حجمی چند مایع مختلف در جدول (۵-۶) داده شده است.

آزمایش ۷-۳

وسایل لازم: یک بالون شیشه‌ای، مقداری آب که با

جوهر رنگی شده باشد، درپوش سوراخ‌دار همراه با یک لوله شیشه‌ای بلند با مجرای بسیار نازک، چراغ الکلی، سه پایه و شعله پخش کن، ظرف شیشه‌ای بزرگ نسوز

۱- بالون شیشه‌ای را از آب رنگی پر کنید و درپوش همراه با لوله شیشه‌ای بلند را مطابق شکل طوری در دهانه بالون جای دهید که هیچ هوایی در بالون نباشد و آب مقداری در لوله بالا بیاید. ارتفاع آب در لوله شیشه‌ای را با علامت مشخص کنید.



- ۲- ظرف شیشه‌ای بزرگ را پر از آب کرده روی شعله چراغ قرار دهید تا آب آن گرم شود.
- ۳- بالون شیشه‌ای را مطابق شکل درون آب داغ فرو برید و نحوه تغییر ارتفاع آب در لوله شیشه‌ای را مشاهده کنید.
- ۴- مشاهده‌های این آزمایش را با توجه به انبساط ظرف (بالون شیشه‌ای) و انبساط آب توضیح دهید.

در آزمایش (۳-۴) اگر ارتفاع مایع درون لوله باریک (به مساحت مقطع A) از مقدار h_1 قبل از گذاشتن بالون در آب داغ به مقدار h_2 در انتهای آزمایش رسیده باشد، مایع ظاهراً به اندازه $(h_2 - h_1)A$ افزایش حجم پیدا کرده است، که به آن انبساط ظاهری مایع می‌گویند.

فعالیت ۱۱-۷

آیا واقعاً مایع به اندازه انبساط ظاهری خود افزایش حجم پیدا کرده است؟ توضیح دهید. اگر پاسخ شما به این سؤال منفی است. تحقیق کنید که انبساط واقعی مایع‌ها را چگونه اندازه می‌گیرند.

جدول ۵-۶- ضریب انبساط حجمی چند مایع

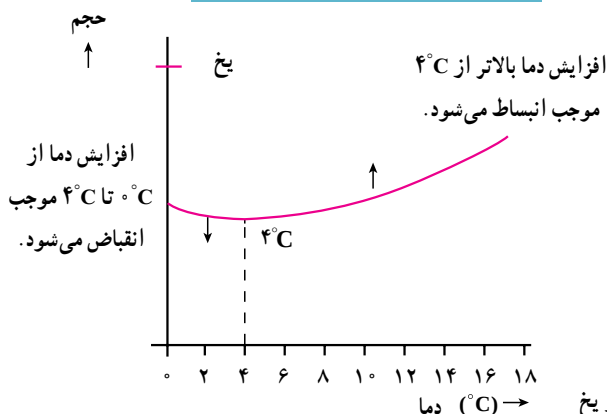
ماده	(ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$)
آب معمولی	$1/6 \times 10^{-3}$
الکل اتیلیک	$1/1 \times 10^{-3}$
بنزن	$1/2 \times 10^{-3}$
گلیسرین	$1/5 \times 10^{-3}$
جیوه	$1/18 \times 10^{-3}$

تغییرات چگالی با دما: افزایش دما تغییر در جرم جسم

ایجاد نمی‌کند ولی حجم آن را (به جز در موردی استثناء) افزایش می‌دهد. از این رو انتظار داریم که چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ با افزایش دما تغییر کند. با توجه به این که با افزایش دما، V در مخرج کسر افزایش می‌یابد، پس نتیجه می‌گیریم که افزایش دما باعث کاهش چگالی می‌شود. هنگامی که مایع (یا گازی) را در یک نقطه گرم می‌کنیم، چگالی قسمت گرم شده کم می‌شود (کمتر از مایع (یا گاز) اطراف آن نقطه). در نتیجه چون قسمت گرم شده چگالی کمتری دارد به بالا رانده می‌شود و جای خود را به مایع (یا گاز) سردتر می‌دهد.

انبساط غیرعادی آب: حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما

کاهش می‌یابد و با رسیدن به نقطه انجماد این کاهش حجم بیشتر می‌شود. ولی آب رفتاری متفاوت دارد. به این ترتیب که آب از 100°C تا 4°C مانند هر مایع معمولی با کاهش دما کاهش حجم پیدا می‌کند. ولی از 4°C تا 0°C این رفتار عوض می‌شود و کاهش دما باعث افزایش حجم آب می‌شود. تغییرات حجم آب نسبت به دما در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.

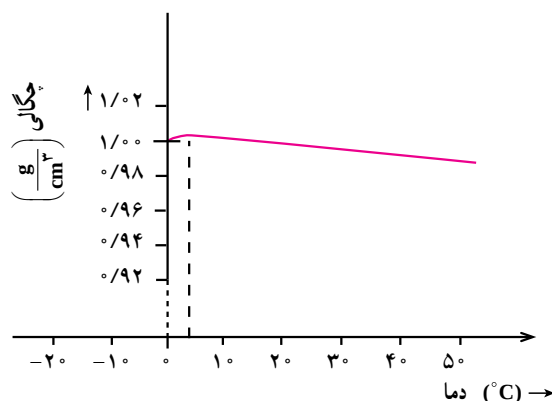


شکل ۴-۶- تغییر حجم آب و یخ

تمرین ۳-۷

آب در چه دمایی کمترین حجم را دارد؟ در این دما چگالی بیشترین مقدار خود را دارد یا کمترین آن را؟

تغییرات چگالی آب نسبت به دما در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.



شکل ۵-۶ - تغییرات چگالی آب با دما

فعالیت ۱۲-۷

تحقیق کنید که :

- الف) این نوع تغییر غیرعادی حجم و چگالی آب چه تأثیری بر نحوه قرار گرفتن لایه‌های آب با دماهای متفاوت در اقیانوس‌ها دارد؟
 ب) این نحوه قرار گرفتن چه تأثیری بر محیط زیست اقیانوس‌ها داشته است؟

۴-۶ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارتند از **همرفتی**، **رسانش** و **تابش**. در ادامه به بررسی ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم. ولی باید گفته شود که در هر فرایند انتقال گرما، هر سه این ساز و کارها می‌توانند دخالت داشته باشند.

فعالیت ۱۳-۷

مبحث رسانش گرما را از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بخوانید و آن را در چند سطر خلاصه بنویسید.

رسانش

با انجام این فعالیت به یاد آورده‌اید که رسانش گرما در مواد مختلف متفاوت است، از ماده‌های عایق مخصوص در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از شارش برون‌سوی گرما در زمستان و شارش درون‌سوی آن در تابستان جلوگیری کنند. اکنون می‌دانید که فلزها رساناهای خوب گرما هستند، در حالی که ماده‌هایی از قبیل شیشه، چوب، آزبست، آجر و جز این‌ها، رساناهای چندان خوبی نیستند. برای محاسبه آهنگ شارش گرما در یک ماده (یعنی مقدار گرمایی که در واحد زمان از هر مقطع

جدول ۶-۶- رسانندگی گرمایی ماده‌های مختلف

رسانندگی گرمایی (J/s m K)	ماده	رسانندگی گرمایی (J/s m K)	ماده
۸۲	آهن	۳۵	سرب
۴۱۸	نقره	۱	شیشه
۰/۲۴	هوا	۰/۹	بنب‌نسوز
۰/۶	آجر	۰/۴	آب
۰/۸	چوب	۲/۲	یخ
۴	مس	۳	چوب‌پنبه
		۲۳۸	آلومینیوم

فرضی در آن می‌گذرد)، میله‌ای به طول L و به سطح مقطع A از یک ماده معین در نظر می‌گیریم. فرض کنید که یک سر این میله (سر داغ) را در دمای ثابت θ_1 (نسبتاً زیاد) و سر دیگر آن (سر سرد) را در دمای ثابت θ_2 (نسبتاً کم) قرار داده باشیم. آهنگ شارش گرما به عامل‌های زیر بستگی دارد:

۱- اختلاف دما: $\theta_1 - \theta_2$ هر چه اختلاف دما بیشتر باشد، گرما با آهنگ بالاتری در میله شارش می‌کند.

۲- طول میله: هر چه طول میله بیشتر باشد، آهنگ شارش گرما کندتر می‌شود.

۳- سطح مقطع میله: هر چه سطح مقطع میله بیشتر باشد آهنگ شارش گرما بیشتر می‌شود.

در نتیجه: Q ، گرمایی که در t ثانیه در یک میله شارش می‌کند برابر است با:

$$Q = K \frac{A \Delta \theta}{L} \quad (۶-۱۸)$$

A در این معادله مساحت سطح مقطع میله و L طول آن است. $\Delta \theta$ اختلاف دمای دو سر میله است.

ثابت تناسب K رسانندگی گرمایی نام دارد.

یکای رسانندگی گرمایی $J/s \cdot m \cdot K$ یا $W/m \cdot K$ است.

رسانندگی گرمایی چند ماده مختلف در جدول (۶-۶) درج شده است.

مثال ۷-۱۳

یک سر یک میله آهنی ۳ متری را در آب جوش و سر دیگر آن را در یک مخلوط آب و یخ قرار می‌دهیم. اگر شعاع مقطع میله ۲ سانتی‌متر باشد، چه مقدار انرژی در هر دقیقه از طریق رسانش در میله منتقل می‌شود؟

پاسخ: مساحت سطح مقطع میله برابر است با:

$$A = \pi r^2 = 3/14 \times (0/02)^2 \approx 1/26 \times 10^{-2} m^2$$

با به کار بردن معادله (۶-۱۸) و با استفاده از مقدار K برای آهن از جدول (۶-۶) داریم:

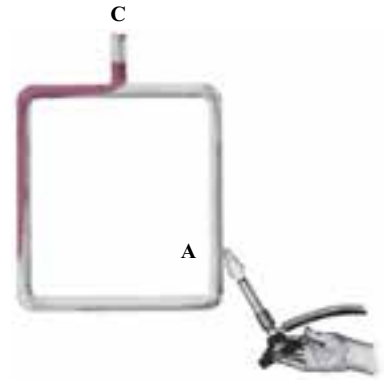
$$Q = \frac{K A \Delta T}{L} = \frac{82 \times 1/26 \times 10^{-2} \times 60 \times 100}{3} \approx 207 J$$

همرفتی: در مبحث انبساط مایع‌ها دیدیم که اگر در یک نقطه درون مایعی به آن گرما بدهیم،

دمای آن نقطه بالا می‌رود و با افزایش دما حجم مایع در اطراف آن نقطه زیاد و چگالی کم می‌شود.

کم شدن چگالی باعث بالا رفتن مایع با دمای زیادتر شده و مایع با دمای کمتر جای آن را می‌گیرد. این

حرکت مایع باعث انتقال گرما به همه نقاط ظرف می‌شود.



شکل ۶-۶- نمایش جریان همرفتی

جریان همرفتی را می‌توانیم به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش دهیم. لوله شیشه‌ای مستطیلی شکلی را که در شکل (۶-۶) نشان داده شده است پر از آب می‌کنیم و با یک چراغ الکلی یا گازی آن را در نقطه A گرم می‌کنیم. اگر چند قطره مایع رنگی از نقطه C به درون لوله بریزیم، حرکت مایع را به خوبی می‌توانیم مشاهده کنیم. همراه با این حرکت، مایع در همه جای لوله گرم می‌شود. جریان همرفتی در هوا نیز وجود دارد. در یک روز آفتابی زمین و صخره‌ها با دریافت انرژی از نور خورشید گرم می‌شوند و دمای لایه هوای مجاور خود را زیاد می‌کنند. هوای با دمای زیادتر به بالا می‌رود و هوای با دمای کمتر جای آن را می‌گیرد. این جریان هوای رو به بالا در برخی نقاط می‌تواند بسیار شدید باشد.

فعالیت ۷-۱۴

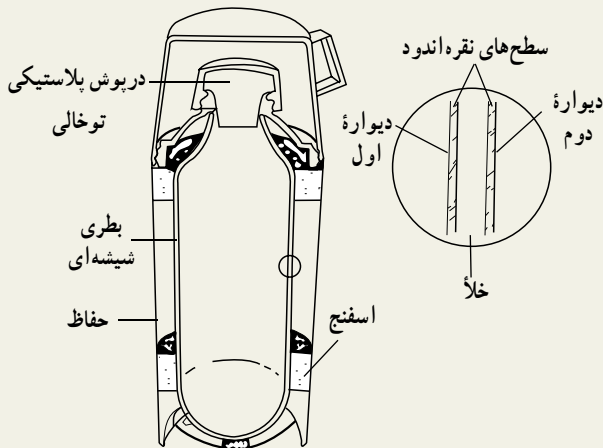
درباره جهت وزش نسیم از خشکی به طرف دریا و برعکس در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

وارونگی هوا: در بعضی شرایط خاص بین زمین و لایه هوای گرم‌تر که معمولاً همراه با دود و آلودگی‌های دیگر هوای شهری به بالا صعود کرده است، یک لایه هوای سرد قرار می‌گیرد. در این وضعیت لایه آلوده و با دمای زیادتر، به دلیل وجود آلاینده‌ها در آن قسمت عمده انرژی خورشید را می‌گیرد و مانع نفوذ آن به لایه ساکن زیرین می‌شود. در نتیجه هوای آلوده شهری دیگر امکان بالارفتن پیدا نمی‌کند. این پدیده را **وارونگی هوا** می‌نامند. این پدیده اثرهای زیان‌باری بر سلامتی افراد دارد. کودکان، سالمندان و کسانی که از بیماری‌های تنفسی رنج می‌برند در چنین شرایطی بهتر است درون خانه‌ها بمانند.

تابش: همه ما تجربه گرم شدن در نور خورشید را داریم. این نور برای رسیدن به ما از خلأ می‌گذرد. این نوع انتقال گرما را که نیاز به محیط مادی ندارد، **تابش** می‌نامند.

سرعت انتقال گرما از طریق تابش بسیار زیاد است. اگر در مقابل شعله بایستید، گرمای آتش را روی پوست خود احساس می‌کنید. در این هنگام، اگر شخصی بین شما و شعله قرار گیرد، در همان لحظه که شعله پنهان می‌شود، احساس گرما روی پوست شما نیز از بین می‌رود و باز هنگامی که شخص کنار رود احساس گرما با همان سرعت بازمی‌گردد.

همه جسم‌ها، در حال تابش از سطح خود هستند. در نتیجه همه جسم‌ها تابش جسم‌های دیگر را که در اطراف آنها قرار دارند دریافت می‌کنند. از این تابش دریافتی بخشی را جذب می‌کنند (که باعث زیادتر شدن دمای آن‌ها می‌شود) و بخش دیگری را باز می‌تابانند. آن جسم‌هایی که سطح صیقلی‌تری دارند باز تابش بیشتری انجام می‌دهند و بخش کمتری از تابش دریافتی را جذب می‌کنند.



نقطه مهر و موم که هوا از آنجا تخلیه شده است.

فلاسک خلأ: برای آنکه جای یا نوشیدنی در فلاسک داغ بماند، باید انتقال گرما از آن به محیط اطراف، از هر سه طریق همرفتی، رسانش و تابش به حداقل برسد. خلأ بین دو دیواره شیشه‌ای بطری، از رسانش گرما از دیواره‌های فلاسک به طور کامل جلوگیری می‌کند. درپوش چوب پنبه‌ای یا پلاستیکی توخالی نیز حاوی هواست که رسانای ضعیف گرماست. در خلأ بین دو دیواره شیشه‌ای جریان همرفتی نیز وجود ندارد، تنها هنگامی که درپوش فلاسک برداشته می‌شود، جریان همرفتی می‌تواند باعث انتقال گرما شود. جلوگیری از تابش گرما از همه مشکل تر است، زیرا این تابش می‌تواند از خلأ بین دو دیواره بگذرد. پوشش نقره‌ای روی دیواره‌های شیشه‌ای بطری باعث کاهش انتقال گرما از طریق تابش می‌شود.

فعالیت ۷-۱۵

پاسخ دهید که چرا :

- ۱- در لباس‌های آتش‌نشانی از پوشش‌های فلزی براق استفاده می‌شود؟
- ۲- هنگامی که در یخچال را باز می‌کنید، هوای سرد از پایین آن بیرون می‌آید؟
- ۳- در کشورهای با آب و هوای گرم، رنگ سفید برای نمای بیرون خانه‌ها مناسب تر است؟
- ۴- در زمستان وقتی با پاهای برهنه روی کف سنگی یا سیمانی راه می‌روید، پاهای شما احساس سرما می‌کند، اما وقتی روی کف اتاق با کف پوش چوبی (با همان دما) راه می‌روید احساس سرما نمی‌کنید؟

۵-۶ قانون گازها

دیدیم که گازها هم مانند مایع‌ها و جامدها با زیاد شدن دما افزایش حجم پیدا می‌کنند. اگر بخواهیم این افزایش حجم صورت نگیرد باید فشار بیشتری بر گاز وارد کنیم. دانشمندی چون بویل، ماریوت، شارل و گئی لوساک با انجام آزمایش‌های متعدد و دقیق، رابطه بین حجم و فشار، حجم و دما، فشار و دمای گازها را مورد بررسی قرار دادند.

پیامد این بررسی‌ها را می‌توان چنین بیان کرد :

برای مقدار معینی از یک گاز کامل، کمیت $\frac{PV}{T}$ یعنی حاصل ضرب فشار گاز در حجم آن تقسیم بر دمای گاز بر حسب کلون همواره ثابت است. یعنی اگر در یک فرایند، حجم، فشار و دمای

مقدار معینی از یک گاز کامل را از P_1, V_1 و T_1 به P_2, V_2 و T_2 برسانیم داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (۶-۱۹)$$

دما در این رابطه برحسب کلون است. یکاهای فشار در دو طرف رابطه و همین طور یکاهای حجم در دو طرف باید یکسان باشند.

گازهای واقعی معمولاً به طور کامل از این قانون پیروی نمی کنند.

آزمایش ها نشان می دهند که رفتار یک گاز واقعی، هرچه فشار آن کمتر باشد، بیشتر به رفتار گاز کامل نزدیک است. گازهای واقعی در دماهای کمتر از دمای نقطه میعان دیگر به حالت گاز نیستند و مایع می شوند.

مثال ۷-۱۴

حجم استوانه موتور یک اتومبیل 12°cm^3 است. این استوانه حاوی مخلوطی از هوا و بنزین در فشار یک اتمسفر است. اکنون اگر حجم استوانه را در دمای ثابت به 15°cm^3 برسانیم، فشار آن چقدر می شود؟
پاسخ: چون دما ثابت است داریم:

$$T_1 \quad T_2$$

در نتیجه رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی آید:

$$P_1 V_1 \quad P_2 V_2 \quad (۶-۲۰)$$

(این رابطه را حدود 35° سال پیش بویل انگلیسی و ماریوت فرانسوی به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون بویل - ماریوت مشهور است).
در این مثال داریم:

$$P_1 \quad 1 \text{ atm} \quad V_1 \quad 12^\circ \text{cm}^3$$

$$P_2 \quad ? \quad V_2 \quad 15^\circ \text{cm}^3$$

در نتیجه با درج در معادله (۶-۲۰) داریم:

$$1 \times 12^\circ \quad P_2 \times 15$$

با انجام محاسبه به دست می آوریم:

$$P_2 \quad 8 \text{ atm}$$

مثال ۷-۱۵

راننده ای فشار هوای درون تایر اتومبیل خود را در صبح یک روز سرد که دمای هوا 3°C است، روی $2/7$ اتمسفر تنظیم می کند. اگر او به منطقه گرم تری سفر کند به طوری که وقتی به مقصد می رسد دمای هوا 27°C باشد، فشار هوای درون تایر چقدر است؟

پاسخ: در این مثال حجم تایر ثابت مانده است، یعنی:

$$V_1 \quad V_2$$

در نتیجه رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی آید :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (۶-۲۱)$$

با استفاده از داده های مثال داریم :

$$P_1 \quad 2/7 \text{ atm} \quad T_1 \quad 273 \quad 3 \quad 270^\circ \text{K}$$

$$P_2 \quad ? \quad T_2 \quad 273 \quad 27 \quad 300^\circ \text{K}$$

با درج در معادله (۶-۲۱) داریم :

$$\frac{2/7}{270} = \frac{P_2}{300}$$

با انجام محاسبه به دست می آوریم :

$$P_2 \quad 2 \text{ atm}$$

مثال ۴-۱۷

دمای یک مقدار معین گاز اکسیژن را در فشار ثابت از صفر سلسیوس به 273°C می رسانیم، اگر حجم گاز در ابتدا برابر $2 \times 10^3 \text{ cm}^3$ باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

پاسخ: در این آزمایش فشار ثابت مانده است، در نتیجه داریم :

$$P_1 \quad P_2$$

بنابراین رابطه (۶-۱۹) به صورت زیر درمی آید :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (۶-۲۲)$$

(این رابطه را حدود 200 سال پیش شارل و گی لوساک به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون شارل - گی لوساک معروف است).

با استفاده از داده های این مثال داریم :

$$T_1 \quad 0 \quad 273 \quad 273 \text{ K} \quad V_1 \quad 2 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$T_2 \quad 273 \quad 273 \quad 546 \text{ K} \quad V_2 \quad ?$$

با درج در معادله (۶-۲۲) داریم :

$$\frac{2 \times 10^3}{273} = \frac{V_2}{546}$$

با انجام محاسبه به دست می آوریم :

$$V_2 \quad 4 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

فعالیت ۷-۱۷

با استفاده از تجهیزاتی که در آزمایشگاه فیزیک دبیرستان خود دارید، آزمایشی را طراحی کنید که در آن قانون گازها یا یکی از صورت های خاص آن مورد تحقیق قرار گیرد. آزمایش را به طور گروهی انجام دهید. گزارش کار آن را بنویسید و شرح دهید که برای کم کردن خطاها چه تمهیداتی باید اعمال کرد.

اراستو ممبا

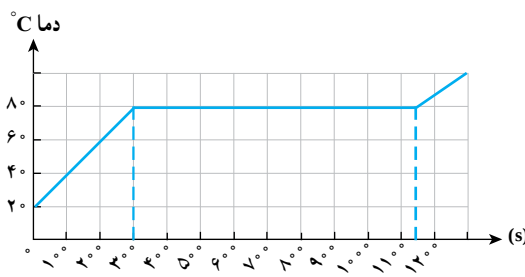
اراستویی. ممبا دانش آموز تانزانایی دوره راهنمایی تحصیلی، در سال ۱۹۶۳ پدیده‌ای را کشف کرد که ظاهراً یکی از قوانین فیزیک را زیر سؤال می‌برد. ممبا در درس آشپزی خود که ظاهراً یکی از دروس دوره راهنمایی تحصیلی تانزانیا بوده است، مجبور به ساختن بستنی می‌شود. او و سایر هم‌کلاسی‌هایش باید پس از تهیه مخلوط بستنی داغ، آن را در فریزر قرار می‌دادند تا خنک شود. در اینجا دو حکایت وجود دارد. ممبا یا از ترس اینکه مبادا جایی برای بستنی او باقی نماند و یا برای اینکه کلاس را زودتر ترک کند، مخلوط بستنی خود را بلافاصله در فریزر قرار می‌دهد، در حالیکه هم‌کلاسی‌هایش منتظر می‌مانند تا پس از مدتی که مخلوط بستنی خنک شد آن را در فریزر قرار دهند. اما در کمال تعجب، بستنی ممبا در زمان کمتری نسبت به بستنی‌های خنک دوستان او یخ بست؛ اتفاقی که انگار فقط برای ممبا مهم بود و او را به این نتیجه منطقی رساند که شاید «مایع‌های داغ سریع‌تر از مایع‌های سرد یخ می‌بندند.» نتیجه‌ای که در تناقض با قانون سرمایش نیوتون است که بیان می‌دارد: «هر جسم داغ نسبت به جسم سرد، با آهنگ کندتری سرد می‌شود و هر جسم سرد، با آهنگ کندتری نسبت به یک جسم داغ، گرم می‌شود.» ممبا این آزمایش را بارها و بارها تکرار کرد و به همان نتیجه رسید. از همین‌رو، نتیجه آزمایش‌های خود را برای معلم علومش بازگو کرد. ولی این معلم که در مجموعه محفوظات و شیوه نادرست تدریسش غرق شده بود، بی آنکه آزمایش ممبا را انجام دهد، او را به استهزاء گرفت. با وجود این، ممبا از پای ننشست. در دوره دبیرستان ممبا، فردی به نام دکتر دنیس جی اُسبرُن از دانشگاه دارالسلام برای ایراد سخنرانی به دبیرستان ممبا رفت. پس از پایان سخنرانی، ممبا آن پرسشی را که سال‌ها در دل داشت از او پرسید. ولی این بار برخلاف معلم دوره راهنمایی، دکتر اُسبرُن ممبا را به استهزاء نگرفت و بلافاصله با یک همکار مجرب خود در امور آزمایشگاهی تماس گرفت و از او خواست آزمایش ممبا را انجام دهد و او را از نتیجه کار آگاه سازد. دستیار آزمایشگاه پس از نخستین آزمایش‌ها باز به همان نتیجه ممبا رسید و با این حال به دکتر اُسبرُن اطمینان می‌داد که نگران نباشد: «آن قدر تکرار می‌کنم تا نتیجه درست به دست آید.» و منظور او از نتیجه درست، نتیجه‌ای بود که نظریه ممبا را رد می‌کرد! اما او نیز پس از چندین و چند آزمایش ناچار شد نظریه ممبا را بپذیرد. در نتیجه، دکتر اُسبرُن به همراه ممبا مقاله کلاسیک و بسیار مشهوری به چاپ رساندند که تاکنون ارجاعات فراوانی به آن شده است. نتیجه انتشار این مقاله، تولد اثری موسوم به اثر ممبا بود که چرایی آن هنوز مورد مناقشه است.

- 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 گزینه دربارهٔ فرایند ذوب درست است؟
 الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر موارد، سبب پایین رفتن نقطهٔ ذوب می‌شود.
 ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب افزایش نقطهٔ ذوب آن می‌شود.
 پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.
 ت) گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.
 ث) دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطهٔ ذوب رسیده است، آن را ذوب می‌کند.
- ۳ یکی از روش‌های 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 نوشابهٔ سرد، در هوای گرم عرق می‌کند؟
- ۶ الف) آیا می‌توان یخ را بدون آنکه ذوب شود تا دمایی بالاتر از C° گرم کرد؟
 ب) آیا می‌توان آب را بدون آن که یخ ببندد، تا دمایی پایین‌تر از C° سرد کرد؟
- ۷ برای خنک کردن موتور اتومبیل لازم است مایعی نظیر مخلوط ضد یخ با آب و یا آب معمولی در اطراف سیلندر و درون حفره‌های سیلندر گردش کند. بهتر است گرمای ویژهٔ مایع کم باشد یا زیاد؟ چرا؟ چه عوامل دیگری نیز می‌تواند دارای اهمیت باشد؟
- ۸ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجهٔ آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیشتری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

مسائل فصل ششم

- ۱ دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس مشخص کنید :
 الف) K° ب) $273K$ پ) $373K$ ت) $546K$
- ۲ هنگامی که 1 kg آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب $C^\circ 30$ بالا می‌رود.
 الف) توان متوسط گرمکن را حساب کنید.
 ب) اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن را چقدر افزایش خواهد داد؟
- ۳ دمای یک قطعه فلز 6° کیلوگرمی را توسط یک گرمکن 50° واتی در 11°C از 18°C به 38°C رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژهٔ فلز چه مقداری را ارائه می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیشتر است یا کمتر؟ توضیح دهید.

۴ گرماسنجی به جرم 200° گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه 80° گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با 50° گرم آب به درون گرماسنج ریخته می شود. دمای این مجموعه 30° C است. در این هنگام 100° گرم آب 70° C به گرماسنج اضافه می شود، دمای تعادل 52° C می شود. گرمای ویژه ماده نامعلوم را محاسبه کنید.



زمان (s)

۵ به یک جسم جامد 5° کیلو گرمی توسط یک گرمکن 100° وات می 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 ویژه ذوب آن را محاسبه کنید.

۶ گرمکنی در هر ثانیه 200° ژول انرژی فراهم می کند. چه مدت زمان طول می کشد تا این گرمکن 1° کیلو گرم آب 100° C را به بخار آب 100° C تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی، چه مقدار یخ 0° را به آب 0° می تواند تبدیل کند؟

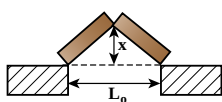
۷ یک گرمکن که با آهنگ ثابت 500° وات انرژی تولید می کند، به طور کامل در یک قطعه یخ بزرگ با دمای 0° گذاشته شده است. در مدت 132° ثانیه، 2° کیلو گرم آب با دمای 0° تولید می شود. گرمای نهان ویژه ذوب یخ را حساب کنید.

۸ یک گرمکن 5° واتی غوطه ور در آب به طور کامل در 100° گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می شود.
الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از 20° C به 25° C می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.
ب) چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از 25° C به نقطه جوش (100° C) برسد؟
پ) چه مدت طول می کشد تا 20° گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۹ یک ماده فولادی ابتدا تا دمای 800° گرم شده و سپس در روغنی به جرم 2 kg و دمای 10° C فرو برده می شود. در نتیجه، دمای روغن به اندازه 40° C افزایش می یابد. جرم ماده فولادی در صورتی که دمایش در روغن به اندازه 20° C کم شده باشد، چقدر است؟ گرمای ویژه فولاد و روغن به ترتیب برابر با 63° kJ/kg.K و $1/9^\circ \text{ kJ/kg.K}$ روغن است.



۱۰ بر اثر افزایش دما به اندازه 32° C، میله ای که در مرکز آن شکافی وجود دارد به بالا تاب می خورد. اگر فاصله ثابت $3/77\text{ m}$ و ضریب انبساط خطی میله $25 \times 10^{-6}^\circ \text{ C}$ باشد، بالا رفتگی x مرکز میله چقدر است؟



۱۱ با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی در جدول (۴-۶)، انبساط تیر آهنی با طول اولیه 25° متر، در اثر افزایش دمای از 10° C تا 30° C را حساب کنید.

۱۲ با استفاده از جدول (۴-۶) حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می شود که طول یک خط کش $0/5^\circ$ متری برنجی $1/1^\circ$ میلی متر افزایش یابد.

۱۳ طول های یک سیم آهنی و یک سیم مسی در دمای 20° C با هم یکسان و برابر 10° m است. آیا در دمای 60° C اختلافی در طول سیم ها مشاهده می شود، و اگر پاسخ مثبت است مقدار آن را به دست آورید.

۱۴ مقداری نفت خام در مخزنی استوانه ای به ارتفاع 10° m ریخته شده است. در دمای 10° C فاصله بین سطح نفت تا بالای ظرف برابر 50° cm است. ضریب انبساط حجمی نفت 10^{-4}° K است. اگر از انبساط دیواره ظرف در حین افزایش دما چشم پوشی شود، در چه دمایی نفت از ظرف سرریزی می شود؟

۱۵ در روزی که دما $^{\circ}\text{C}$ است برای پنجره‌ای، شیشه‌ای به طول 6m انداخته شد. برای پیش‌بینی انبساط شیشه، فاصله کوچکی به اندازه $1/35$ میلی‌متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما 25°C است مشاهده می‌شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم‌پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۶ از شیشه پنجره‌ای به عرض 2 متر و ارتفاع 1 متر و ضخامت 4mm :

الف) در یک روز زمستانی که دمای بیرون $^{\circ}\text{C}$ و دمای درون اتاق 20°C است چه مقدار گرما در هر ثانیه به خارج نشت می‌کند؟

ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می‌شود؟

پ) اگر در طول سال دمای داخل اتاق به طور متوسط 8°C بالاتر از دمای بیرون باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می‌شود؟

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 هوا با فشار یک اتمسفر درون استوانه یک دستگاه باد 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 آن که در دمای ثابت فشار هوای محبوس 3 اتمسفر شود، طول استوانه را چه قدر باید کاهش دهیم؟

۱۹ تایر یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است فشار اندازه‌گیری شده در تایر 2 اتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل‌رانی بسیار سریع، فشار هوای تایر دوباره اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌شود که فشار $2/3$ اتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون تایر در این وضعیت چقدر است (حجم تایر را ثابت بگیرید)؟

۲۰ در گروهی از جانوران خون‌گرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم کنترل دمای بدن است.

الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم 50kg را، 1°C سردتر کند؟ گرمای نهان ویژه تبخیر آب در دمای بدن (37°C) برابر $2420\text{J/kg}\cdot\text{K}$ 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 جرم‌های مساوی از سرب و آلیاژ سرب - قلع (لحیم) سرد شده است و نمودارهای تغییر دما بر حسب زمان به صورت شکل زیر است.

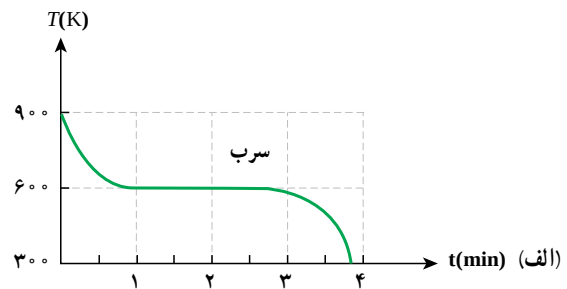
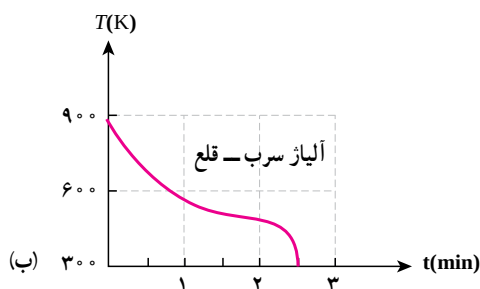
الف) حالت فیزیکی سرب را پس از 30 ثانیه نام ببرید.

ب) چه پدیده‌ای در دمای 600K برای سرب روی می‌دهد؟

پ) چرا دمای سرب بیش از 2 دقیقه در 600K ثابت می‌ماند؟

ت) با استفاده از نمودارهای داده‌شده، دو تفاوت مهم میان فلز سرب و آلیاژ سرب - قلع را نام ببرید.

ث) چرا استفاده از لحیم نسبت به سرب برای اتصال سیم‌ها یا تعمیر لوله‌های شکسته مناسب است؟



واژه‌نامه

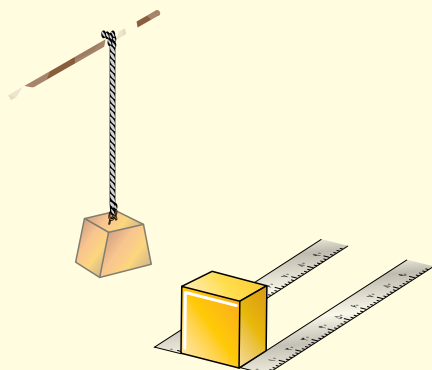
Uniform Motion	حرکت یکنواخت	Freezing	انجماد
Temperature	دما	Measurement	اندازه‌گیری
Thermostat	دماپا	Potential Energy	انرژی پتانسیل
Thermometer	دماسنج	Kinetic Energy	انرژی جنبشی
Maximum and Minimum Thermometer	دماسنج فرینه	Internal Energy	انرژی درونی
Dynamics	دینامیک	Resultant	برایند
Fusion	ذوب	Vector	بردار
Elementary Particles	ذرات بنیادی	Position Vector	بردار مکان
Conductor	رسانا	Crystalline	بلورین
Conduction	رسانش	Conservation of Energy	پایستگی انرژی
Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای	Diffusion	پخش
Average Velocity	سرعت متوسط	Radiation	تابش
Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای	Vaporization	تبخیر
Average Acceleration	شتاب متوسط	Evaporation	تبخیر سطحی
Coefficient of Static Friction	ضریب اصطکاک ایستایی	Sublimation	تصعید
Heat Capacity	ظرفیت گرمایی	Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Ultrasound	فراصوت	Optical Pyrometer	تفسنج نوری
Pressure	فشار	Power	توان
Gage Pressure	فشار پیمانه‌ای	Displacement	جاب‌جایی
Barometer	فشارسنج	Mass	جرم
Technology	فناوری	Cohesion	چسبندگی (هم‌چسبی)
Atomic Physics	فیزیک اتمی	Adhesion	چسبندگی سطحی (دگرچسبی)
Nuclear Physics	فیزیک هسته‌ای	Condensation	چگالش
Newtons Laws	قانون‌های نیوتون	Density	چگالی
Work – Energy Theorem	قضیه کار و انرژی	Phase	حالت
Work	کار	Motion	حرکت
Tension	کشش	Kinematics	حرکت‌شناسی

Scalar	نرده‌ای	Surface Tension	کشش سطحی
Scientific Notation	نمادگذاری علمی	Quantity	کمیت
Force	نیرو	Ideal gas	گاز کامل
Dynamometer	نیروسنج	Gravitation	گرانش
Repulsive Force	نیروی رانشی	Heat	گرما
Attractive Force	نیروی ربایشی	Latent Heat	گرمای نهان
Weight	وزن	Specific Heat	گرمای ویژه
Convection	همرفت	Condensed Matter	ماده چگال
Unit	یکا	Temperature Scale	مقیاس دماسنجی
Base Units	یکاهای اصلی	Capillarity	موینگی
Derived Units	یکاهای فرعی	Liquefaction	میعان

عنوان آزمایش : نام آموزشگاه : شماره کلاس :
 تاریخ اجرای آزمایش : نام و نام خانوادگی گزارشگر :
 تاریخ تحویل گزارش : نام و نام خانوادگی اعضای گروه :

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 چسباندیم سپس جرم آن را اندازه گیری کردیم و آنقدر روی

آن خمیر بازی چسباندیم 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 رویه رو دو خط کش را در طرفین

مکعب طوری روی میز چسباندیم 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 جاشد 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	۵	۷/۷	۷/۳	۷/۶	۷/۵
۲	۱	۱۴	۱۴/۲	۱۴/۶	۱۴/۳
۳	۱۵	۲ / ۸	۲۱/۵	۱۸/۵	۲۱/۶
۴					

تحلیل جدول یا نمودار و نتیجه گیری : دیده می شود که وقتی ارتفاع را دو برابر کردیم تقریباً جابه جایی مکعب نیز دو برابر و به همین ترتیب وقتی ارتفاع را سه برابر کردیم جابه جایی مکعب هم سه برابر شده است

پس نتیجه می گیریم که : الف) وزنه وقتی نسبت به میز در ارتفاع قرار می گیرد دارای انرژی ای است که در برخورد به مکعب آن را به شکل انرژی جنبشی به مکعب می دهد

انرژی وزنه را انرژی پتانسیل گرانشی می نامیم
(ب) هرچه ارتفاع وزنه بیشتر باشد انرژی پتانسیل گرانشی آن هم بیشتر است :

$$U_{\infty h} \text{ انرژی پتانسیل گرانشی جسم}$$

عوامل ایجاد خطا :

- الف) اصطکاک جعبه با لبه های خط کش ها در دو طرف مسیر و نیز با سطح میز
- ب) اندازه گیری ارتفاع گلوله تا سطح میز که سعی می کردیم از مرکز وزنه تا سطح میز را با خط کش اندازه بگیریم و همین موجب ایجاد خطا می شد
- پ) طرز قرار گرفتن گلوله و نخ موجب می شود که پس از رها شدن برخورد در همه حالت ها ایده آل نباشد بخصوص در آزمایش سوم برای ارتفاع ۱۵ سانتی متری

پیشنهاد و ابتکار : اعضای گروه ما فکر می کنند که از عوامل دیگر مؤثر انرژی پتانسیل گرانشی هر جسم جرم آن است و برای تحقیق آن می توانیم مانند آزمایش اجرا شده بالا وزنه هایی با جرم های مختلف را از یک ارتفاع یکسان رها کنیم تا به جعبه برخورد کنند البته حدس می زنیم که این دفعه گلوله ها در برخورد با جعبه متوقف نشوند و همین موضوع باعث خطای زیادی خواهد شد

فهرست منابع

منابع فارسی

- ۱- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح... خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، چاپ اول ۱۳۸۹، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۲- مبانی فیزیک (جلد اول)، ویرایش نهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و پرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۰، انتشارات آراکس.
- 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، پرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری نژاد، چاپ اول ۱۳۹۱، انتشارات آراکس.

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 و ۶ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.



معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را در باره مطالب

این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email)

talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفترتالیف کتاب های درسی ابتدایی متوسطه نظری