

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# فیزیک ۲



خلیلی بروجنی، روح الله ۱۳۵۰  
 فیزیک ۲/ تألیف روح الله خلیلی بروجنی، [برای] وزارت آموزش و پرورش، دفتر برنامه ریزی  
 و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کار دانش . - تهران : انتشارات محراب قلم، ۱۳۹۰ .  
 ۱۳۶ ص جدول ، نمودار . - (شماره درس ۴۹۸/۸)  
 فهرست نویسی براساس اطلاعات فیپا.  
 ۱. فیزیک ۲. راهنمای آموزش ( متوسطه ) . موسسه فرهنگی و انتشاراتی محراب قلم .  
 ج . عنوان  
 ۲۷۹ ک ۴۰۷۶/۳۳۸

**برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف:** دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کار دانش

نام کتاب: فیزیک ۲

مؤلف: روح الله خلیلی بروجنی (khalily@gmail.com)

ویراستار: ناصر مقبلی

مدیر هنری، طراح گرافیک و صفحه آرا: حسین وهابی

طراح جلد: امیر نساجی

نوبت چاپ: دوم ۱۳۹۰

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

www.mehrab-e-ghalam.com

www.meg.ir

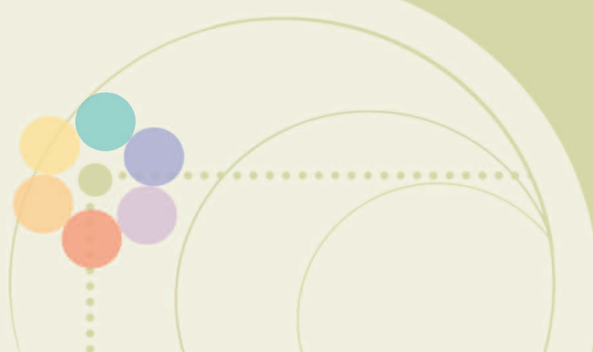
شابک: ۹۶۴-۰۵-۱۷۵۳-۴

حق چاپ محفوظ است.

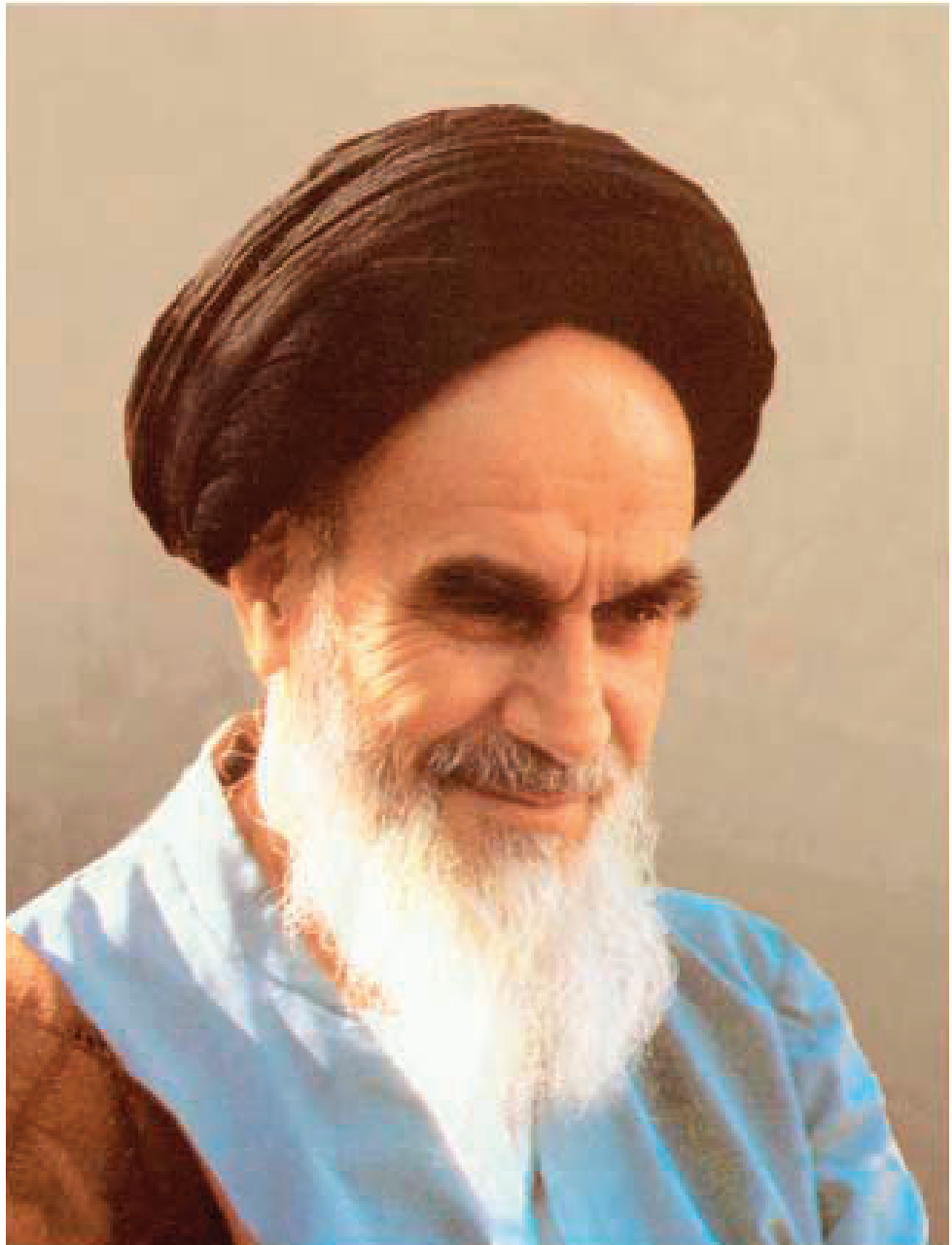
**آدرس:** تهران خیابان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، خیابان شهدای ژاندارمری، پلاک ۱۰۴

تلفن: ۰۸۷۹ ۶۶۴۹ - ۶۶۴۱۸۱۹۰ دورنگار: ۰۱ ۶۶۴۶۵۲ - صندوق پستی: ۵۶۸-۱۳۱۴۵

این کتاب به سفارش دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کار دانش سازمان  
 پژوهش و برنامه ریزی آموزشی توسط موسسه فرهنگی و انتشاراتی **محراب قلم** تألیف و آماده سازی  
 گردیده و پس از تصویب دفتر مذکور به چاپ رسیده است.







# فهرست

۱۱ اندازه گیری و بردارها

۲۷ حرکت روی خط راست

۴۷ نیرو و قانون های نیوتون

۶۹ کار برد قانون های نیوتون

۸۵ کار و انرژی

۱۰۱ چگالی و فشار

## به نام آن که تن به جان و جان به فکرت زنده کرد

### سخنی با دانش آموزان عزیز

پس از فیزیک ۱ و آزمایشگاه این دومین کتابی است که در آن شما با برخی دیگر از مفاهیم و کاربردهای فیزیک آشنا می‌شوید. در برنامه ریزی و تالیف این کتاب، رشته‌ی تحصیلی، آینده‌ی شغلی و همچنین نیاز شهروندی شما بیش از همه مورد توجه بوده است.

### اهمیت فیزیک

مطالعه‌ی فیزیک از آن رو اهمیت دارد که فیزیک یکی از بنیادی‌ترین دانش‌هاست. نظریه‌های فیزیک را دانشمندان همه‌ی رشته‌ها به کار می‌برند. فیزیک شالوده‌ی تمامی مهندسی و فناوری است. هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آن که نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون ال سی دی، یک کاوشگر فضایی، یا حتی یک تله موش بهتر طراحی کند. اگر هرگز به فکر افتاده‌اید که چرا آسمان آبی است، موج‌هایی رادیویی و تلویزیونی چگونه می‌توانند در فضای تهی و هوا منتشر شوند و به ما برسند، یا یک ماهواره‌ی ارتباطی چگونه در مدار خاصی می‌ماند و دور زمین می‌چرخد، می‌توانید با به کار بردن فیزیک بنیادی به پاسخ‌ها دست یابید. بالاتر از همه، در خواهید یافت که دانش فیزیک دستاوردی رفیع از هوشمندی انسان در جستجو برای درک جهان پیرامون است.

### ماهیت فیزیک

فیزیک علمی تجربی است. فیزیکدانان پدیده‌های طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند طرح‌ها و اصولی را که این پدیده‌ها را به هم مربوط می‌کنند بیابند. این طرح‌ها را نظریه‌های فیزیکی می‌خوانند و هنگامی که کاملاً خوب تثبیت شده باشند و کاربرد وسیعی داشته باشند آن‌ها را اصول یا قانون‌های فیزیکی می‌نامند. گسترش یک نظریه‌ی فیزیکی در همه‌ی مرحله‌ها مستلزم خلاقیت است. فیزیکدان باید پرسیدن سؤال‌های مناسب را فرا بگیرد، با طرح آزمایش‌هایی بکوشد به آن سؤال‌ها پاسخ دهد، و از نتایج استنتاج‌های مناسب را به دست آورد.

گسترش نظریه‌های فیزیکی همواره فرایندی دو سویه است که انجام و سرانجام آن مشاهده یا آزمایش است. فیزیک تنها مجموعه‌ای از واقعیت‌ها و اصول نیست؛ بلکه فرایندی نیز هست که توسط آن به اصول عامی می‌رسیم که چگونگی رفتار جهان فیزیکی را توصیف می‌کنند.

هیچ نظریه‌ی فیزیکی تا کنون به عنوان حقیقت پایانی یا غایی در نظر گرفته نشده است. این امکان همواره وجود دارد که مشاهدات جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت نظریه‌ی فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم، ولی هرگز نمی‌توانیم ثابت کنیم که یک نظریه همواره صحیح است.

### یادگیری را بیاموزیم

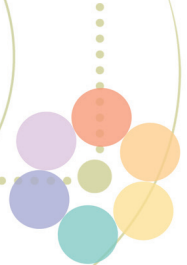
هر یک از ما شیوه‌های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری برگزیده‌ی خود را داریم. درک شیوه‌ی یادگیری خودتان به شما کمک می‌کند که روی جنبه‌های از فیزیک که می‌توانند برای شما دشوار باشند تمرکز کنید و آن مؤلفه‌هایی را به کار گیرید که شما را در غلبه بر مشکل یاری می‌دهند. روشن است که شما می‌خواهید وقت بیش‌تری را صرف آن جنبه‌هایی کنید که بیش‌ترین زحمت را برای شما فراهم می‌کنند. اگر شما با شنیدن و انجام آزمایش یاد می‌گیرید، حضور فعال در کلاس‌های درس بسیار مهم هستند. اگر با توضیح دادن یاد می‌گیرید، آن‌گاه علاوه بر حضور فعال در کلاس‌های درس، کار کردن با دانش‌آموزان دیگر برای شما بسیار مهم است. اگر مسئله حل کردن برای شما مشکل است وقت بیش‌تری را صرف یادگیری روش حل مسئله‌ها کنید و همراه با کتاب درسی از کتاب کار نیز استفاده کنید. درک و گسترش شیوه‌های عادت‌ی خوب نیز اهمیت دارد. شاید مهم‌ترین کاری که می‌توانید برای خودتان انجام دهید آن باشد که زمان‌های مطالعه‌ی با برنامه‌ی زمان‌بندی منظم و کافی در محیطی خالی از عامل‌های برهم زننده‌ی تمرکز برای خود در نظر بگیرید.

### پرسش‌های زیر را برای خود پاسخ دهید:

- آیا من توانایی به کار بردن مفهوم‌های ریاضی را در فیزیک دارم؟ (اگر پاسخ منفی است به کتاب ریاضیات سال اول خود و همچنین پیوست الف کتاب مراجعه کنید و افزون بر اینها از معلم خود نیز راهنمایی‌های لازم را بخواهید.)
- آسان‌ترین فعالیت‌ها در فیزیک برای من کدام‌ها بوده‌اند؟ (نخست این فعالیت‌ها را انجام دهید؛ این کار به ایجاد اعتماد به نفس در شما کمک می‌کند.)
- آیا اگر کتاب را پیش از کلاس خوانده باشم مطلب را بهتر می‌فهمم یا پس از آن؟ (ممکن است شما به این روال بهتر یاد بگیرید که نخست مطلب را با ورق زدن کتاب بخوانید، سپس به کلاس درس بروید و پس از آن به خواندن دقیق موضوع بپردازید.)
- آیا زمانی که صرف مطالعه‌ی فیزیک می‌کنم کافی است؟ (تجربه نشان می‌دهد که به ازای هر یک ساعت کلاس باید به طور متوسط ۲ ساعت خارج از کلاس به آن اختصاص داده شود. به این معنا که در هفته شما باید بین ۴ تا ۶ ساعت به مطالعه‌ی فیزیک بپردازید.)
- برای من بهترین ساعت روز برای مطالعه‌ی فیزیک کدام است؟ (زمان خاصی از روز را برگزینید و آن را تغییر ندهید. همچنین آن ۴ تا ۶ ساعت را در طول هفته پخش کنید!)
- آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم کار می‌کنم؟ (مزاحمت‌ها روال کار شما را بر هم می‌زند و موجب می‌شود نکته‌های مهم را از قلم ببندازید.)

### کار کردن با دیگران

دانشمندان و مهندسان به ندرت در انزوا از یکدیگر کار می‌کنند، بلکه بیش‌تر با یکدیگر همکاری دارند. اگر با دیگر دوستانتان کار کنید هم فیزیک بیش‌تر یاد خواهید گرفت و هم از این یادگیری بیش‌تر لذت



خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری و مشارکت در یادگیری در کلاس‌های درس رسمیت بخشیده‌اند و افزون بر این زمینه‌ی تشکیل گروه‌های مطالعه را فراهم می‌سازند. گروه مطالعه‌ی شما به هنگام مرور درس‌ها برای آزمون‌ها، پشتوانه‌ی گرانبه‌تری است.

### کلاس درس و یادداشت برداری

یک مؤلفه‌ی بسیار مهم در هر درس، حضور در کلاس آن درس است. درخصوص فیزیک کلاس درس اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا معلم فیزیک در فرایند آموزش فعالیت‌هایی را انجام می‌دهد که شما را یاری می‌دهند تا اصل‌های بنیادی فیزیک را بفهمید. در کلاس‌ها حضور فعال داشته باشید و اگر به دلیلی نتوانستید در کلاسی شرکت کنید از دوستی یا یکی از عضوهای گروه مطالعه‌ی خود درخواست کنید که شما را در جریان آن چه گذشته است قرار دهد. یادداشت برداری صرفاً برای مثال‌ها یا تمرین‌هایی پیشنهاد می‌شود که در کتاب درسی و یا در کتاب کار شما موجود نیستند و معلم شما برای تفهیم بهتر موضوع آنها را برای شما مطرح می‌کند.

### راه حل مسئله‌های فیزیک

تقریباً همه‌ی دانش‌آموزان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این اندیشه می‌یابند که «من مفهوم‌ها را می‌فهمم اما فقط نمی‌توانم مسئله‌ها را حل کنم». حال آن که در فیزیک درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل در خصوص مسئله‌های مختلف یکی است. فراگیری چگونگی حل مسئله‌ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک نمی‌دانید، مگر آن که بتوانید آن را به کار ببرید.

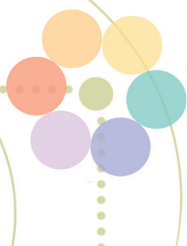
### حل مسئله‌های فیزیک را چگونه فرا بگیرید؟

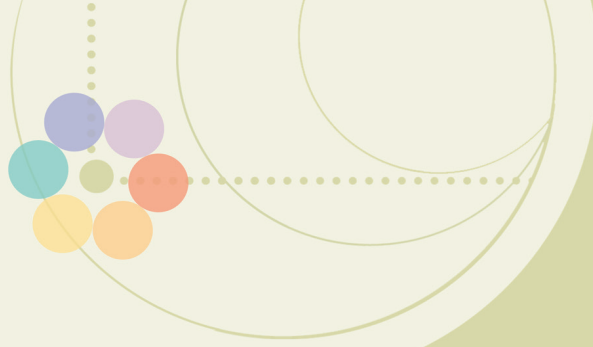
برای حل انواع مختلف مسئله‌های فیزیک به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. صرفنظر از نوع مسئله‌ای که در دست دارید، گام‌های کلیدی مسلمی وجود دارند که باید همواره آن‌ها را مراعات کنید. (همین گام‌ها در حل مسئله‌های ریاضی، مهندسی، شیمی و بسیاری از زمینه‌های دیگر به همین اندازه سودمندند.)

**گام اول: شناسایی مفهوم‌های مرتبط** نخست تصمیم بگیرید که چه مفهوم‌های فیزیکی به مسئله مربوط‌اند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد با این وجود گاهی بحث‌انگیزترین بخش راه حل مسئله همین مرحله است. ولی این مرحله را از قلم نیندازید، زیرا انتخاب رهیافت اشتباه در آغاز، مسئله را از آن چه که هست مشکل‌تر می‌کند و چه بسا به پاسخ نادرست می‌انجامد.

در این مرحله باید متغیر هدف مسئله - یعنی کمیتی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید - شناسایی کنید. این کمیت می‌تواند سرعت برخورد یک توپ به زمین، فشار هوا در بالای قله‌ی یک کوه یا اندازه‌ی تصویر حاصل از یک عدسی باشد. متغیر هدف مقصد فرایند حل مسئله است؛ در حین اجرای راه حل این مقصد را از نظر دور ندارید.

**گام دوم: آمادگی برای حل مسئله** بر اساس مفهوم‌هایی که در گام اول برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حل مسئله نیاز دارید بنویسید و تصمیم بگیرید که آن‌ها را چگونه به کار خواهید برد. اگر لازم می‌دانید طرحی از وضعیتی را که توسط مسئله توصیف شده است بکشید.





**گام سوم: اجرای راه حل** در این مرحله ریاضیات مسئله را انجام دهید. پیش از آن که دست به کار محاسبه‌ها شوید فهرستی از همه‌ی متغیرهای معلوم و مجهول تهیه کنید و به متغیرهای هدف توجه داشته باشید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

**گام چهارم: ارزیابی پاسخ شما** مقصود از حل مسئله‌ی فیزیک تنها به دست آوردن یک عدد یا یک فرمول نیست؛ مقصود آن است که درک بهتری حاصل شود. به این معنا که باید پاسخ را بیازمایید و دریابید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با معناست؟» اگر متغیر هدف شما شعاع کره‌ی زمین بوده و پاسخ شما  $6/38$  سانتی‌متر به دست آمده باشد (یا یک عدد منفی باشد!) باید چیزی در فرایند حل مسئله‌ی شما نادرست باشد. بازگردید و کار خود را امتحان و راه حل را بر حسب نیاز اصلاح کنید.

### آزمون‌ها

شرکت در آزمون برای هر کس تنش زاست. ولی اگر احساس کنید که به قدر کفایت آمادگی دارید و خوب استراحت کرده باشید تنش شما کاهش خواهد یافت.

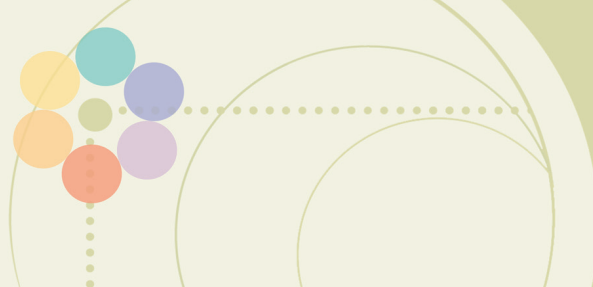
آماده شدن برای یک آزمون فرایندی است پیوسته و مداوم که از لحظه‌ای آغاز می‌شود که آزمون قبلی تمام شده است. شما باید بی‌درنگ آن آزمون را مرور کنید و اشتباه‌هایی را که مرتکب شده‌اید بفهمید. اگر در حل مسئله‌ای خطاهای قابل ملاحظه‌ای مرتکب شده‌اید به این شیوه عمل کنید که یک تکه کاغذ بردارید و آن را با خطی از بالا تا پایین کاغذ، از وسط به دو بخش تقسیم کنید. در یک ستون حل درست مسئله را بنویسید. در ستون دیگر کارهایی را که خودتان انجام داده‌اید، و اگر می‌دانید که دلیل آن کارها و این که چرا حل شما نادرست است را بنویسید. اگر مطمئن نیستید که چرا این اشتباه‌ها را کرده‌اید یا این که چگونه از انجام دوباره‌ی آن‌ها اجتناب کنید با معلم خود صحبت کنید. فیزیک به طور پیوسته بر روی ایده‌های بنیادی ساخته می‌شود و این مهم است که هر بدفهمی را بی‌درنگ تصحیح کنید. اختصار: در آخرین روز و ساعت خود را با عجله برای آزمون آماده کردن ممکن است شما را در آزمون مورد نظر تا حدی موف گرداند، ولی مفهوم‌هایی را که فرا گرفته‌اید به قدر کفایت برای استفاده در آزمون بعدی به یاد نخواهید داشت.

### مسیر آموزش و یادگیری

دانش‌آموزان عزیز! مسیر آموزش و یادگیری، مسیری سر راست و مستقیم نیست که بتوان با تلاشی اندک، هدف‌های آن را تحقق بخشید! ابتدا باید به خود باور و ایمان داشته باشید و یقین بدانید که مفاهیمی را که در هر سال تحصیلی می‌خوانید در سطح درک و فهم شما هستند و برای بهبود و ارتقای زندگی فردی و اجتماعی شما فراهم آمده‌اند. در فرایند آموزش جدی و پرتلاش باشید و تا جایی که امکان دارد به طور فعال و با انگیزه در فرایند آموزش مشارکت داشته باشید. چرا که اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را ارتقا دهید و بهبود بخشید به طور حتم فردا دیر است! برای تعامل موثر و سازنده با دنیای پر حجم و پرشتاب امروز، راهی جز «کسب خرد» ندارید و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می‌آید.

خرد دست گیرد به هر دو سرای

خرد رهنما و خرد رهگشای



## سخنی با همکاران ارجمند

بریان آرنولد، که تجربه‌ای ممتد در آموزش و تالیف کتاب‌های درسی فیزیک دارد، در مقدمه‌ی کتاب **درک فیزیک با رویکرد تصویری** می‌نویسد: «پس از سال‌ها آموزش به دانش‌آموزانی با قابلیت‌های علمی مختلف، به این نتیجه رسیده‌ام که درک نظریات نهفته در پشت بیش‌تر مفاهیم فیزیک و کاربرد آن‌ها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان میسر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش‌آموزان موثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درهای درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه‌ی دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آن‌ها، باز یا بسته کند.»

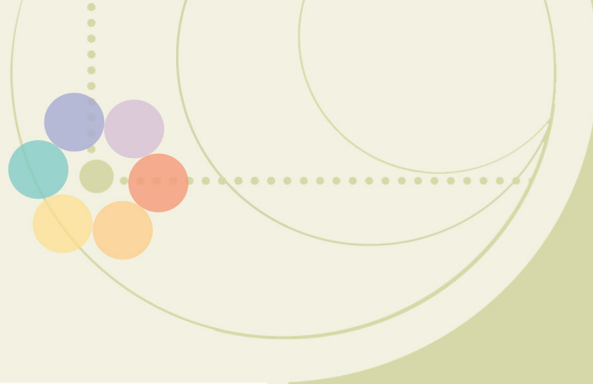
همان‌طور که در مقدمه‌ی بالا نیز اشاره شد شیوه‌های آموزش کارآمد کلید موفقیت نسبی هر برنامه‌ی درسی است. بنابراین انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربه‌ی خود و به کارگیری شیوه‌های آموزشی موثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق‌انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم نمایند. در این راه توجه به موارد زیر در هر فصل می‌تواند راهگشا باشد.

**فصل اول:** در این فصل پس از نگاهی کوتاه به اندازه‌گیری و یکاهای اصلی مورد استفاده در مکانیک (جرم، طول، و زمان)، آشنایی مقدماتی با بردارها آمده است. همچنین در براین بردارها، **تنها** بردارهای هم راستا یا عمود بر هم مورد توجه قرار گرفته است.

**فصل دوم:** در این فصل فقط حرکت شناسی مقدماتی در یک بعد مورد توجه قرار گرفته است. دانش‌آموزان پس از آشنایی با حرکت یکنواخت و رسم نمودار مکان-زمان آن، حرکت با شتاب ثابت و معادله‌های آن را مورد توجه قرار می‌دهند. شیوه‌ی یافتن این معادله‌ها به هیچ وجه نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد. نمودار سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت به صورت یک مثال برای دانش‌آموزان مطرح شده است و انتظار نمی‌رود ظرایف مختلف نمودارها مورد بررسی و ارزشیابی قرار گیرد. همچنین نمودار مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت به هیچ وجه نباید مورد بحث قرار گیرد. در پایان فصل سقوط آزاد **بدون سرعت اولیه** و با دوری جدی از پیچیدگی‌های آن بیان شده است. به این ترتیب ضرورت دارد حرکت شناسی روی خط راست حداکثر در سطحی که در کتاب آمده تدریس و ارزشیابی شود. همکاران ارجمند به خوبی می‌دانند که بحث حرکت شناسی را می‌توان بسیار تعمیق و گسترش داد که نه در برنامه‌ی درسی این کتاب مورد نظر بوده و نه نیاز و سطح مخاطب این کتاب آن را می‌طلبد.

**فصل سوم:** در این فصل ابتدا مفهوم نیرو، نه به صورت یک تعریف، بلکه از طریق مصداق‌های آن معرفی شده است تا دانش‌آموزان براساس آن‌ها به درک درستی از مفهوم نیرو برسند. سپس قانون‌های حرکت نیوتون و قانون‌های نیرو (وزن، تکیه‌گاه، و اصطکاک) بررسی شده‌اند. نیروی اصطکاک تنها به صورت عامل مخالف حرکت معرفی شده و سایر جزییات آن به صورت مطالعه آزاد آمده است. در پایان هم تکانه با ذکر چند مثال ساده معرفی شده است. در این فصل نیز نحوه‌ی یافتن هیچ رابطه‌ای نباید در ارزشیابی‌ها مطرح شود.

**فصل چهارم:** در این فصل دانش‌آموزان با کاربرد آنچه تا کنون خوانده‌اند آشنا می‌شوند. لازم است اشاره



شود که گشتاور نیرو تنها برای حالت خاصی که نیرو و راستای اثر آن بر یکدیگر عمودند بررسی شده است و بیان حالت کلی آن مورد نظر نبوده است.

**فصل پنجم:** در این فصل قضیه‌ی کار-انرژی بدون اثبات معرفی شده و ضرورت دارد حداکثر در حد مثال‌هایی که در کتاب آمده تدریس و ارزشیابی شود. درگیر کردن ذهن دانش‌آموزان با مثال‌های پیچیده و دشوار به هیچ‌رو مورد نظر نبوده است.

**فصل ششم:** این فصل نیز به جهت ملموس بودن مباحث آن برای دانش‌آموزان جذابیت خاصی دارد. ارایه و انجام آزمایش‌های ساده می‌تواند فضای بهتری برای درک مفاهیم و شوق انگیز شدن فضای کلاس فراهم کند. در پایان فصل اصل ارشمیدس و قانون شناوری به طور بسیار ساده‌ای معرفی شده‌اند که تنها در همین حد از دانش‌آموزان انتظار فهم و دریافت می‌رود.

### قدردانی

اینک که پس از سال آموزش این کتاب، چاپ دوم آن با توجه به نظرات رسیده، جامه‌ی طبع به خود می‌پوشد و صورت انتشار می‌پذیرد پس از سپاس از **خدای منان**، از همه‌ی عزیزانی که بدون عنایت و اهتمامشان این خدمت خرد صورت تحقق نمی‌پذیرفت سپاس‌گزاری می‌کنم.

روح الله خلیلی بروجنی  
اردیبهشت ۱۳۹۰

### بسته‌ی جامع آموزشی

#### دانش‌آموزان عزیز و معلمان ارجمند:

موجب بسی خرسندی است که به اطلاع شما برسانیم که این برای نخستین بار است که در نظام آموزشی کشورمان و همگام با تحولات آموزشی در کشورهای توسعه‌یافته، برای یک موضوع درسی دو بسته‌ی آموزشی مجزا، یکی مربوط به دانش‌آموز و دیگری مربوط به معلم برنامه‌ریزی و تولید شده است. در تولید این بسته‌های آموزشی تلاش فراوانی شده است تا استانداردهای روز آموزش فیزیک به کار گرفته شود.

#### محتوای بسته‌ی دانش‌آموز:

کتاب درسی

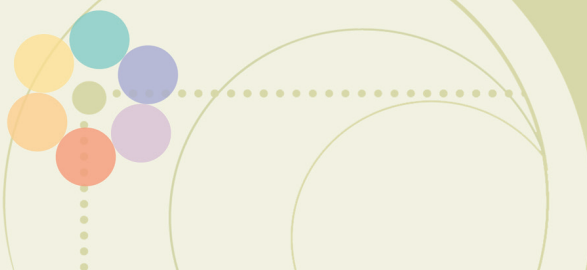
کتاب راهنمای مطالعه و کار دانش‌آموز

نرم افزار تعاملی ضمیمه‌ی کتاب درسی

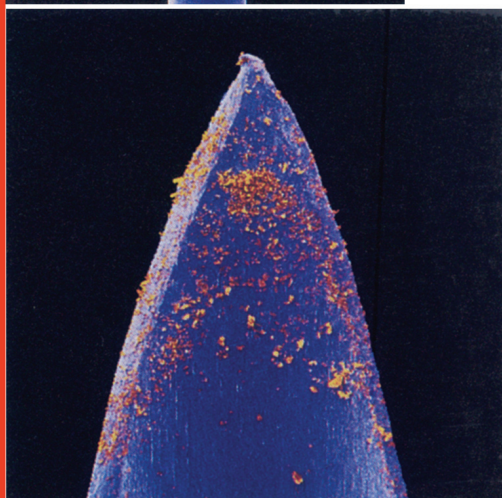
#### محتوای بسته‌ی معلم:

کتاب راهنمای تدریس معلم

نرم افزار معلم







آیا می‌توانید اندازه‌ی یک باکتری را  
برآورد کنید؟

تصویری از باکتری‌های میله‌ای روی  
سر یک سوزن. بزرگمایی هر تصویر به  
ترتیب از بالا به پایین،  $\times 9$ ،  $\times 36$ ،  $\times 875$   
و  $\times 4375$  برابر است.



## سیمای فصل

۱-۱ دستگاه بین‌المللی یکاهای اندازه‌گیری

۲-۱ استانداردهای زمان، طول و جرم

۳-۱ کمیت‌های فیزیکی

۴-۱ کمیت‌های نرده‌ای و برداری

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



## اندازه‌گیری و بردارها

ما همواره با انواع اندازه‌گیری و مقایسه‌ی ابعاد اجسام با یکدیگر سروکار داریم. برای خرید و فروش برخی اجناس از انواع ترازوها استفاده می‌کنیم. خط‌کش و متر نواری از جمله ابزارهای اصلی خیاط‌ها و پارچه‌فروش‌هاست. هرروز چندین بار به ساعت خود نگاه می‌کنیم تا وقت خود را برای انجام کارهای مختلف مثلاً رسیدن به اتوبوس یا کلاس درس تنظیم کنیم. پزشک‌ها در معاینه‌ی بیمارها از دماسنج و فشارسنج استفاده می‌کنند و اطلاعات لازم از بیمار مثلاً مربوط به ترکیب خون او را از آزمایشگاه‌هایی که کار آن‌ها نیز اندازه‌گیری است به دست می‌آورند.

در این فصل علاوه بر آشنایی با مبحث اندازه‌گیری، به بررسی بردارها و ویژگی آن‌ها نیز خواهیم پرداخت.

### بیش‌تر بدانید



- اندازه‌گیری‌های علمی
- نخستین اقدام برای انتخاب یکاهای جدید

## ۱-۱ دستگاه بین‌المللی یکاهای اندازه‌گیری

استفاده از یکاهایی که در همه‌ی نقاط کره‌ی زمین به کمک آن‌ها بتوان به راحتی کالاها و خدمات متفاوت را با یکدیگر مبادله کرد یک ضرورت اساسی برای زندگی در دنیای امروز است. به همین جهت در سال ۱۳۵۰ (ه.ش) مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها هفت کمیت را به عنوان کمیت‌های اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهد که با علامت اختصاری SI شناخته شده است.<sup>۱</sup> جدول ۱-۱ یکاهای سه کمیت اصلی - طول، جرم و زمان - را که در ادامه‌ی همین فصل بررسی خواهیم کرد نشان می‌دهد.

۱- علامت اختصاری SI برای نام فرانسوی آن،  
Le Systeme International d'Unités  
دستگاه SI یا متریک نامیده می‌شود.

جدول ۱-۱ سه کمیت اصلی SI و یکاهای آن ها

کمیت	نام یکا	نماد یکا
زمان	ثانیه	s
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg

### تشبیه سازی



- حرکت ماه به دور زمین
- شب و روز

### بیش تر بدانید



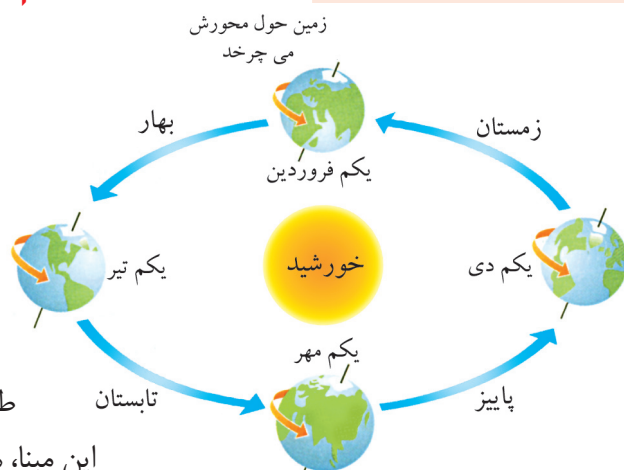
- تشکیل فصل ها

## ..... مطالعهی آزاد \*

دو دستگاه یکای دیگر وجود دارد که همچنان با دستگاه SI رقابت می کنند. یکی دستگاه گاوسی است که بسیاری از رابطه های فیزیک در سطح های بالا بر حسب آن ها بیان می شود. در کتاب های مقدماتی فیزیک از این دستگاه استفاده نمی شود. دستگاه دیگر، دستگاه بریتانیایی است که هنوز در انگلستان و کشورهای تابعه ی آن و همچنین در ایالات متحده ی آمریکا به کار می رود. برخی از یکاهای اصلی دستگاه بریتانیایی عبارت اند از: طول (فوت)، نیرو (پوند)، و زمان (ثانیه). جالب است بدانید با وجود آن که پوند یکای نیروست، غالباً به عنوان یکای جرم نیز به کار می رود. به طوری که هر پوند را معادل  $\frac{4536}{1000}$  کیلوگرم می گیرند. همچنین هر فوت معادل  $\frac{3048}{1000}$  متر است. خلبان ها هنگام پرواز، ارتفاع هواپیما از سطح زمین را برحسب این یکا بیان می کنند.

## ۲-۱ استانداردهای زمان، طول و جرم

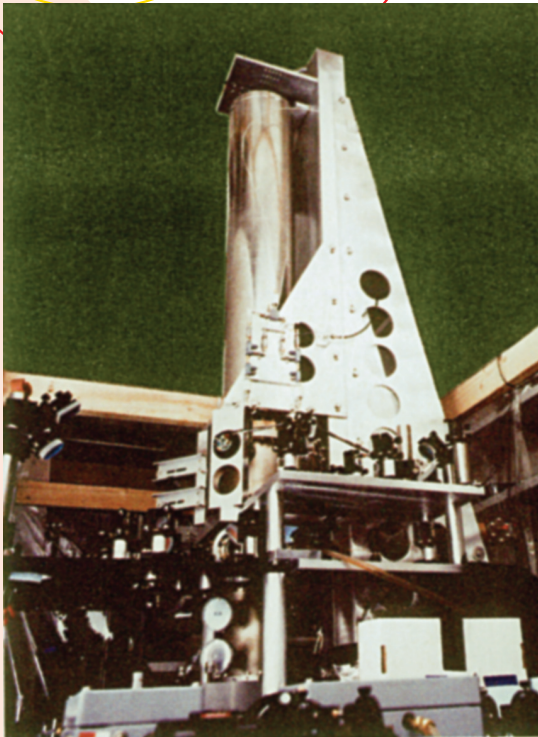
**زمان:** یکای زمان در SI ثانیه نام دارد که آن را با نماد s نمایش می دهند. برای تعیین یکای زمان و نیز ساخت وسیله ی اندازه گیری زمان همواره از پدیده های تکرار شونده استفاده می شود. حرکت زمین برای انسان ساعتی طبیعی بوده است. وقتی زمین به دور خورشید می چرخد، سال ها را می شمارد و وقتی به دور خود می چرخد (حرکت وضعی)، روزها را شمارش می کند. برای مدت طولانی حرکت وضعی زمین مبنایی برای تعیین یکای زمان بود. مطابق این مبنا، هر شبانه روز یعنی مدتی که زمین یک بار به دور محورش می چرخد به ۲۴ قسمت تقسیم شده و هر قسمت یک ساعت نام گرفته است. هر ساعت به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه به ۶۰ قسمت به نام ثانیه تقسیم شده است. به این ترتیب یکای زمان،  $\frac{1}{86400}$  برابر مدتی که طول می کشد تا زمین یک بار به دور محور خود بچرخد، تعریف شد (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱ با چرخش همزمان زمین به دور خودش و خورشید روزها و فصل ها پدید می آید. شروع هر فصل در نیمکره شمالی در این شکل نشان داده شده است.

\* این قسمت ها برای مطالعه ی بیش تر دانش آموزان است و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرند.





شکل ۱-۳ امروزه ساعت‌های اتمی ساخته شده دقت بسیار بسیار زیادی دارند به طوری که پس از یک میلیون سال تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند.

به علت آن که مدت زمان یک شبانه‌روز ثابت نیست، کوشش شد تا برای انتخاب یکای استاندارد زمان، مبنای ثابتی تعیین شود. با تعریف دقیق‌تر یکای زمان، که به کمک ساعت‌های اتمی تعیین می‌شود در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توان آشنا شد (شکل ۱-۳). جدول ۱-۲ گستره‌ی برخی از زمان‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ برخی از زمان‌های اندازه‌گیری شده‌ی تقریبی

اندازه‌گیری	زمان (s)
سن تقریبی عالم	$5 \times 10^{17}$
سن تقریبی زمین	$1/4 \times 10^{17}$
سن متوسط انسان	$2 \times 10^9$
یک سال	$3/1 \times 10^7$
یک شبانه‌روز	$8/6 \times 10^4$
زمان متوسط بین دو ضربان قلب سالم	$8 \times 10^{-1}$

## ..... فعالیت ۱-۱

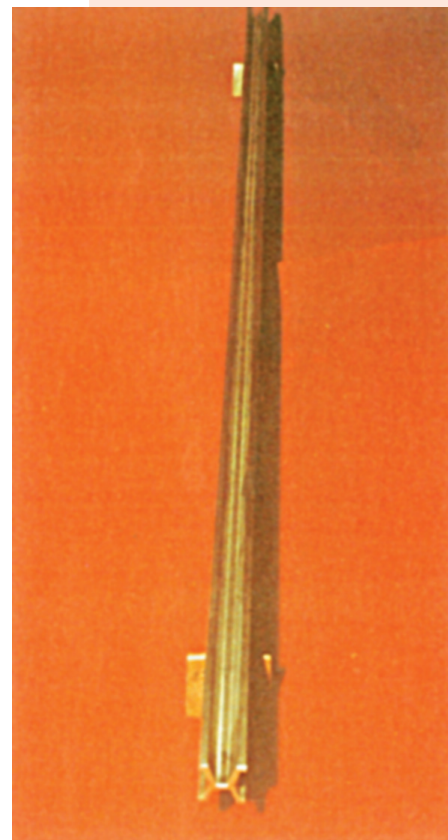
در بسیاری موارد به جای دانستن لحظه‌ی شروع یا لحظه‌ی پایان یک رویداد، نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان آن رویداد داریم. مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد را **بازه‌ی زمانی** می‌نامیم. همان‌طور که می‌دانید در ۳۱ شهریور ۱۳۵۹ جنگ عراق بر ایران تحمیل و در سوم خرداد ۱۳۶۱ خرمشهر از دست متجاوزان عراقی آزاد شد. حساب کنید این دوره یا بازه‌ی زمانی جنگ تحمیلی چند روز به طول انجامید. این تعداد روز معادل چند ثانیه است؟ (راهنمایی: ابتدا باید ببینید آیا سال ۱۳۵۹ یا ۱۳۶۰ سال کبیسه بوده است یا نه و سپس از جدول ۱-۲ استفاده کنید).

## ..... یادداشت ریاضی

نمادگذاری علمی: از آن جایی که در برخی از اندازه‌گیری‌ها با عددهای بسیار بزرگ و بسیار کوچک سروکار داریم، لذا برای بیان این عددها، به طوری که خواندن و نوشتن آن‌ها آسان باشد، از نمادگذاری علمی استفاده می‌کنیم. برای مثال شعاع زمین حدود  $6400 \text{ km}$  یعنی برابر  $6400000 \text{ m}$  است. یا جرم یک گلبول قرمز برابر  $9 \text{ kg}$  است. بدیهی است نوشتن و خواندن این‌گونه عددها دشوار است و موجب اشتباه نیز می‌شود. در نمادگذاری علمی هر مقدار را به صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و ۱۰ و توان صحیحی از  $10$  می‌نویسند. برای مثال شعاع زمین به صورت  $6 \times 10^6 \text{ m}$  و جرم یک گلبول قرمز به صورت  $9 \times 10^{-14} \text{ kg}$  نوشته می‌شود. توجه کنید که در مورد عددهای اعشاری به تعداد شماره‌هایی که ممیز به جلو آورده می‌شود، برای ده توان منفی گذاشته می‌شود.

**طول:** یکای طول در SI متر نام دارد که آن را با نماد  $m$  نمایش می‌دهند. بنابر آخرین تعریف مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها در سال ۱۳۶۲ (ه. ش)، یک متر برابر فاصله‌ای است که نور در بازه‌ی زمانی  $\frac{1}{299792458}$  ثانیه، در خلأ می‌پیماید. این تعریف بسیار تخصصی (که لازم نیست آن را از بر کنید!) برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق طول به کار می‌رود. شکل ۱-۴ میله‌ی استاندارد طول را نشان می‌دهد.

وقتی طول‌هایی را اندازه می‌گیریم که از یک متر خیلی بزرگ‌تر یا خیلی کوچک‌ترند، معمولاً یک‌گانه‌ی را به کار می‌بریم که ده‌ها بار از متر بزرگ‌تر یا کوچک‌ترند. برای مثال، ضخامت یک ورقه‌ی کاغذ، اگر بر حسب میلی‌متر بیان شود بسیار مناسب‌تر است تا بر حسب متر. در جدول ۱-۳ برخی از یکاهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از متر آمده است و جدول ۱-۴ گستره‌ی برخی از طول‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ میله‌ی استاندارد طول از جنس پلاتین - ایریدیم که در موزه ای نزدیک پاریس نگهداری می‌شود.

جدول ۱-۳ برخی از بکاهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از متر

یکا	بر حسب متر (m)
۱ کیلومتر (km)	۱۰۰۰ یا $10^3$
۱ سانتی‌متر (cm)	۰/۰۱ یا $10^{-2}$
۱ میلی‌متر (mm)	۰/۰۰۱ یا $10^{-3}$
۱ میکرومتر ( $\mu\text{m}$ )	۰/۰۰۰۰۰۱ یا $10^{-6}$
۱ نانومتر (nm)	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱ یا $10^{-9}$

بیش‌تر بدانید



وسایل اندازه‌گیری

جدول ۱-۴ گستره‌ی برخی از طول‌های اندازه‌گیری شده

اندازه‌گیری	طول (m)
فاصله‌ی منظومه شمسی تا کهکشان المرأة‌المسلسله	$2 \times 10^{22}$
شعاع کهکشان راه شیری	$6 \times 10^{19}$
فاصله تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیما سنتوری)	$4 \times 10^{16}$
شعاع خورشید	$7 \times 10^8$
شعاع زمین	$6 \times 10^6$
ارتفاع قله‌ی اورست	$9 \times 10^3$
ضخامت صفحه‌ی این کتاب	$1 \times 10^{-4}$
اندازه‌ی یک ویروس	$1 \times 10^{-6}$
شعاع اتم هیدروژن	$5 \times 10^{-11}$

شبیه‌سازی



- آشنایی با کولیس
- آشنایی با ریز سنج
- آشنایی با عمق سنج
- از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های ریز

## ..... مثال ۱-۱

میکرومتر ( $\mu\text{m}$ ) اغلب میکرون نامیده می‌شود. با توجه به جدول‌های ۳-۱ و ۴-۱، اندازه‌ی یک ویروس چند میکرون است؟  
**حل:** با توجه به جدول ۳-۱، هر میکرومتر یا میکرون برابر  $10^{-6} \text{ m}$  است، بنابراین، با توجه به جدول ۴-۱ اندازه‌ی یک ویروس  $1 \mu\text{m}$  یا یک میکرون است.

## ..... فعالیت ۲-۱

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع  $104 \text{ cm}$  و هر فرسنگ  $6000$  ذرع است. حساب کنید قطر زمین تقریباً چند ذرع و چند فرسنگ است؟ قطر متوسط زمین را  $12800 \text{ km}$  بگیرید (شکل ۵-۱).



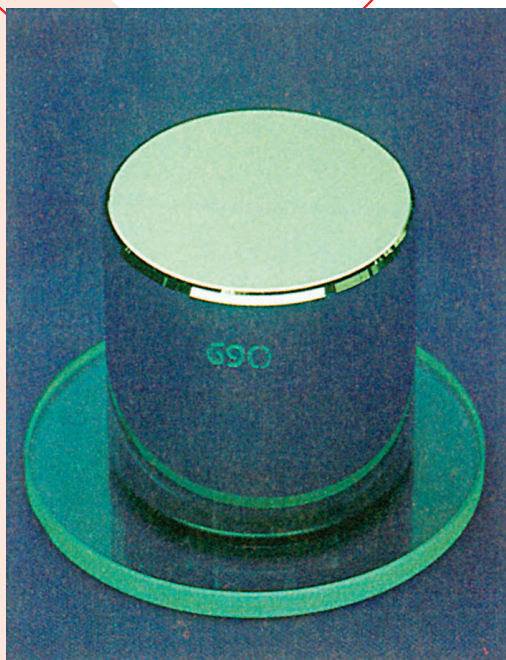
شکل ۵-۱

## ..... مطالعه‌ی آزاد

### خطا در اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف مانند طول، جرم، زمان و غیره هیچ‌گاه نمی‌توان اندازه‌ی واقعی را به دست آورد. زیرا در هنگام اندازه‌گیری دچار خطاهایی می‌شویم. با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح اندازه‌گیری می‌توان مقدار خطا را کاهش داد، اما اندازه‌ی آن به صفر نمی‌رسد. توجه به این نکته ضروری است که در نوشتن یا بیان نتیجه‌های حاصل از اندازه‌گیری باید رقمهایی را که خارج از حدود دقت ابزار اندازه‌گیری است حذف کرد. اگر به کمک خط‌کشی که دقت آن تا میلی‌متر است طول و عرض مستطیلی را به ترتیب  $a = 3/6 \text{ cm}$  و  $b = 2/4 \text{ cm}$  اندازه‌گیری شده باشد مساحت مستطیل با توجه به رابطه‌ی  $A = ab$  برابر  $8/64 \text{ cm}^2$  می‌شود. اما با توجه به این‌که دقت ابزار اندازه‌گیری ما، یعنی خط‌کش، تنها تا میلی‌متر بوده است لذا باید گفت مساحت مستطیل  $A = 8/6 \text{ cm}^2$  است. به عبارت دیگر وقتی مساحت  $A$  را برابر  $8/64 \text{ cm}^2$  گزارش می‌دهیم، نتیجه را با دقتی بیان کرده‌ایم که ابزار اندازه‌گیری ما فاقد آن دقت بوده است.





شکل ۶-۱ استوانه‌ای استاندارد جرم از جنس پلاتین - ایریدیم که در موزه‌ای نزدیک پاریس نگهداری می‌شود.

#### فعالیت عملی



- آشنایی با برخی از وسایل اندازه‌گیری

#### شبیه‌سازی



- تبدیل یکاها
- از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های کوچک

**جرم:** یکای جرم در SI کیلوگرم نام دارد که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند. استاندارد جرم در SI، جرم استوانه‌ای از جنس پلاتین - ایریدیم است که در سازمان بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها در نزدیکی پاریس نگهداری می‌شود (شکل ۶-۱). در جدول ۵-۱ گستره‌ی برخی از جرم‌های اندازه‌گیری شده آمده است.

جدول ۵-۱ گستره‌ی برخی از جرم‌های اندازه‌گیری شده

جرم (kg)	جسم
$2 \times 10^{41}$	کهکشان راه شیری
$2 \times 10^{30}$	خورشید
$6 \times 10^{24}$	زمین
$7 \times 10^{22}$	ماه
$5 \times 10^3$	فیل (معمولی)
$6 \times 10^1$	انسان (معمولی)
$3 \times 10^{-3}$	حبه‌ی انگور
$7 \times 10^{-10}$	ذره‌ی خاک
$1 \times 10^{-15}$	ویروس
$2 \times 10^{-27}$	پروتون
$9 \times 10^{-31}$	الکترون

### ..... فعالیت ۱-۳

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی است که برای اندازه‌گیری جرم به کار می‌رفته است. این یکاها به صورت زیر با یکدیگر مرتبط‌اند

$$۱ \text{ خروار} = ۱۰۰ \text{ من تبریز}$$

$$۱ \text{ من تبریز} = ۴۰ \text{ سیر} = ۶۴۰ \text{ مثقال}$$

$$۱ \text{ مثقال} = ۲۴ \text{ نخود} = ۹۶ \text{ گندم}$$

با توجه به این که هر مثقال معادل  $۴/۸۶$  گرم است، هر کدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

این فعالیت را در خانه و به کمک دیگر اعضای خانواده‌ی خود انجام دهید و گزارشی از آن تهیه کنید و به کلاس درس ارائه دهید.



ترازوی حکمت

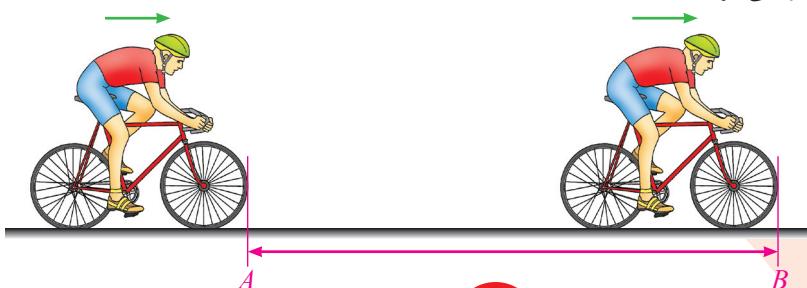
ترازوی حکمت یکی از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله‌ی دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. شواهد نشان می‌دهند که این ترازو در اواخر قرن پنجم یا اوایل قرن ششم هجری قمری توسط عبدالرحمان خازنی ساخته شده است. برخلاف شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌نماییم، ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از هفت کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها در عین آن که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌داده‌اند، باعث می‌شده‌اند دقت وسیله در سنجش اوزان بالا رود به طوری که امروز ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

### ۱-۳ کمیت‌های فیزیکی

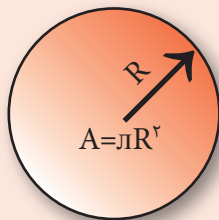
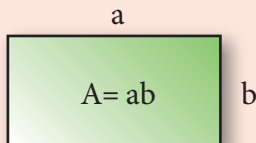
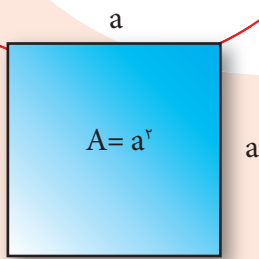
برای بررسی و مطالعه‌ی پدیده‌های فیزیکی به طور کمی، از یک دسته کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم، به طوری که علم فیزیک مبتنی بر اندازه‌گیری این کمیت‌هاست.

**کمیت‌های اصلی:** به کمیت‌هایی که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری باشند، کمیت‌های اصلی گفته می‌شود. همان‌طور که دیدیم زمان، طول و جرم از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که می‌توان آن‌ها را به طور مستقیم اندازه گرفت.

**کمیت‌های فرعی:** برای اندازه‌گیری تعداد بسیار زیادی از کمیت‌ها در فیزیک باید از رابطه‌هایی که بین کمیت‌ها وجود دارد استفاده کنیم و به طور غیر مستقیم کمیت موردنظر را اندازه بگیریم. به کمیت‌هایی که روشی مستقیم برای اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد، کمیت‌های فرعی گفته می‌شود. برای مثال در علوم دوره‌ی راهنمایی دیدیم اگر بخواهیم سرعت متوسط دوچرخه‌سواری را حساب کنیم (شکل ۱-۷)، باید فاصله‌ی طی شده را بر زمانی که این مسافت طی می‌شود تقسیم کنیم و مقدار سرعت متوسط دوچرخه‌سوار را به دست



شکل ۱-۷ دوچرخه سوار طی زمان معینی فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی A و B را طی کرده است.



شکل ۸-۱ مساحت چند شکل منظم



شکل ۹-۱

آوریم. به این ترتیب یکای سرعت متوسط از تقسیم دو یکای اصلی به دست می آید و در SI یکای آن متر بر ثانیه (m/s) است. مساحت و حجم از کمیت های فرعی دیگری هستند که پیش از این با چگونگی اندازه گیری یا محاسبه ی آن ها آشنا شده اید. همان طور که به یاد دارید برای محاسبه ی مساحت سطح یک جسم که شکل هندسی منظم دارد، می توانیم از رابطه ی مربوط به مساحت آن سطح استفاده کنیم. مثلاً مساحت مستطیلی به ضلع های  $a$  و  $b$  برابر  $A = ab$  و مساحت یک قرص دایره ای به شعاع  $R$  برابر  $A = \pi R^2$  است. اما شکل سطح هرچه باشد، واحد مساحت در SI متر مربع است که به صورت  $m^2$  نوشته می شود (شکل ۸-۱). سانتی متر مربع  $cm^2$  واحد دیگری برای مساحت است که به صورت زیر با متر مربع رابطه دارد:

$$1m^2 = 100cm \times 100cm = 10^4cm^2$$

همچنین به یاد دارید که حجم یک مکعب مستطیل به ابعاد  $a$  و  $b$  و  $c$  برابر  $v = abc$  است. یکای حجم در SI متر مکعب است که به صورت  $m^3$  نوشته می شود. یکاهای دسی متر مکعب (لیتر) و سانتی متر مکعب، یکاهای کوچک تر از متر مکعب اند که به صورت زیر با یکدیگر رابطه دارند:

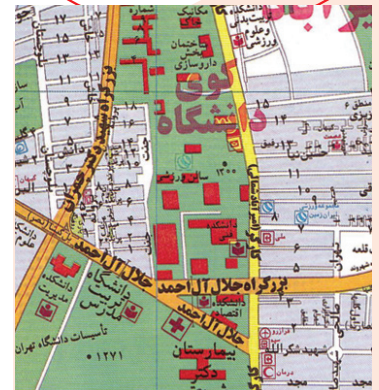
$$1m^3 = 10^3 \text{ lit} = 10^6cm^3$$

## ..... فعالیت ۱-۴

مطابق شکل ۹-۱ قطعه ای سنگ به شکل نامنظم در اختیار داریم. آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان حجم این قطعه سنگ را اندازه گرفت.

## ۴-۱ کمیت های نرده ای و برداری

در بخش قبل دیدیم که برخی از کمیت های فیزیکی مانند جرم، زمان و طول را که در SI کمیت های اصلی نامیده می شوند می توان به طور مستقیم اندازه گرفت. همچنین تعداد بسیاری دیگر از کمیت ها مانند حجم، سرعت، نیرو، انرژی، توان و ... را که در SI کمیت های فرعی نامیده می شوند تنها به طور غیرمستقیم قابل اندازه گیری هستند. به این ترتیب کمیت های فیزیکی با توجه به چگونگی اندازه گیری آن ها، که می تواند مستقیم یا غیرمستقیم باشد، به کمیت های اصلی و فرعی رده بندی می شوند. از سوی دیگر کمیت های فیزیکی به دو نوع **نرده ای** و **برداری** نیز تقسیم می شوند که در ادامه با این تقسیم بندی بیش تر آشنا خواهیم شد.



شکل ۱-۱۰

**کمیت‌های نرده‌ای:** کمیت‌هایی مانند جرم یک جسم، تعداد صفحه‌های یک کتاب، حجم یک استخر، مساحت حیاط مدرسه‌ی شما، زمان اذان مغرب در روز معینی از سال در یک محل خاص، طول قد شما و نظایر آن که تنها با یک عدد و یکای مشخص می‌شوند، کمیت‌های نرده‌ای (عددی) نامیده می‌شوند.

جمع، تفریق، تقسیم و دیگر محاسبه‌های ریاضی کمیت‌های نرده‌ای، از قاعده‌های متداول در ریاضی پیروی می‌کنند. به‌طور مثال اگر یک لیتر آب را در ظرفی که دو لیتر آب دارد بریزیم، سه لیتر آب در ظرف خواهیم داشت:

$$۳ \text{ لیتر} = ۲ \text{ لیتر} + ۱ \text{ لیتر}$$

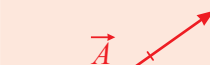
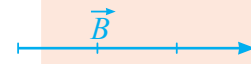
**کمیت‌های برداری:** فرض کنید از دانش‌آموزی پرسیده شود که فاصله‌ی خانه تا مدرسه‌اش چقدر است؟ و او بگوید «۱۲۵۰ متر». آیا با این پاسخ می‌توان با پیمودن یک مسیر دلخواه به مسافت ۱۲۵۰ متر از خانه‌ی او به مدرسه‌اش رسید؟ آشکار است که پاسخ منفی است، زیرا نقطه‌های زیادی هستند که فاصله‌ی آن‌ها از خانه‌ی او ۱۲۵۰ متر است (شکل ۱-۱۰). بنابراین موقعیت مدرسه نسبت به خانه را نمی‌توان تنها با یک عدد بیان کرد. بلکه باید جهتی را هم، مثلاً جنوب غربی، بر آن عدد اضافه کرد.

در فیزیک کمیت‌هایی وجود دارد که افزون بر مقدار یا اندازه، دارای جهت نیز هستند و جمع آن‌ها نیز از قاعده‌های معینی پیروی می‌کند. به این کمیت‌ها، کمیت‌های برداری گفته می‌شود. جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو از جمله کمیت‌های برداری هستند که در فصل‌های بعدی با آن‌ها بیش‌تر آشنا خواهیم شد.

برای نشان دادن هر بردار دلخواهی مانند بردار  $\vec{A}$ ، از خط جهت‌داری استفاده می‌کنیم که طول آن خط، اندازه‌ی بردار و جهت آن، جهت بردار را نشان می‌دهد (شکل ۱-۱۱). در صورتی که اندازه و جهت دو بردار مطابق شکل ۱-۱۲ یکسان باشد، دو بردار را مساوی می‌نامند و می‌توان نوشت  $\vec{A} = \vec{B}$ .

**جمع بردارها:** در این‌جا تنها جمع بردارها را برای دو حالت خاص که بردارها هم‌راستا یا عمود بر هم باشند بررسی خواهیم کرد.

در صورتی که دو بردار در یک راستا باشند افزون بر بزرگی آن‌ها، به جهت آن‌ها نیز باید توجه کنیم. شکل ۱-۱۳ الف دو بردار موازی هم جهت  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  را نشان می‌دهد که بزرگی آن‌ها به ترتیب ۲ و ۳ واحد است. بردار  $\vec{R}$  در شکل ۱-۱۳ ب جمع این دو بردار را نشان می‌دهد که بزرگی


 شکل ۱-۱۱ بردار  $\vec{A}$  با طول ۳ واحد

 شکل ۱-۱۲ دو بردار مساوی  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  که جهت یکسان و بزرگی برابری دارند.


الف

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$$

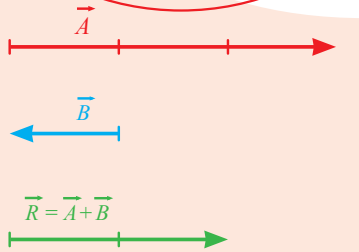
ب

شکل ۱-۱۳ جمع دو بردار موازی و هم‌جهت از قاعده‌ی جمع معمولی پیروی می‌کند.

آن برابر ۵ واحد و در جهت بردارهای  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  است.

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$$

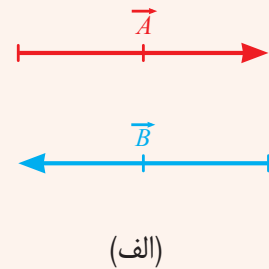
شکل ۱۴-۱ الف دو بردار موازی و غیر هم جهت  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  را نشان می دهد که بزرگی آن ها به ترتیب ۳ و ۱ واحد است. بردار  $\vec{R}$  در شکل ۱-۴ ب، جمع این دو بردار را نشان می دهد که بزرگی آن برابر ۲ واحد و در جهت بردار بزرگ تر، یعنی بردار  $\vec{A}$  است. معمولاً  $\vec{R}$  را، بردار برایند  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  نیز می نامند.



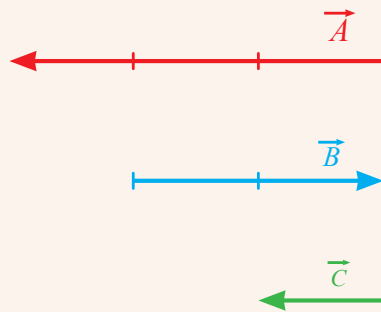
شکل ۱۴-۱ جمع دو بردار موازی و غیر هم جهت از قاعده ی جمع جبری پیروی می کند. بزرگی بردار  $\vec{R}$  برابر  $A-B$  است. علامت منفی نشان می دهد که جهت بردار  $\vec{B}$  برخلاف جهت بردار  $\vec{A}$  است.

### ..... تمرین ۱-۱

جمع (برایند) بردارهای نشان داده شده در شکل ۱۵-۱ را به طور جداگانه به دست آورید و بردار برایند را در هر حالت رسم کنید.



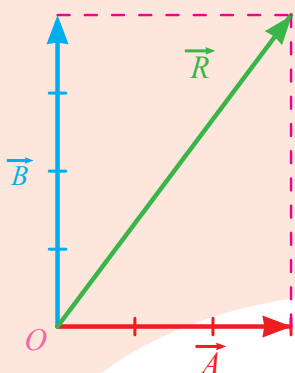
(الف)



(ب)

شکل ۱۵-۱

(پ)



شکل ۱۶-۱

در حالت های خاص دیگری که دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  بر هم عمود باشند، اندازه ی برایند آن ها  $\vec{R}$ ، به سادگی و از طریق محاسبه به دست می آید. همان طور که در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است برای به دست آوردن برایند دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$ ، ابتدا آن ها را از نقطه ی مشترک O رسم کرده و سپس از انتهای دو بردار خطچین هایی موازی هر بردار رسم می کنیم. برداری که از نقطه ی O به محل برخورد این دو خطچین رسم می شود، برایند  $\vec{R}$ ، دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  است. به این ترتیب داریم:

$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ ، که اندازه ی بردار برایند  $\vec{R}$  طبق قضیه ی فیثاغورس برابر است با:

$$R^2 = A^2 + B^2 = 3^2 + 4^2 \Rightarrow R = \sqrt{25} = 5 \text{ واحد}$$

### مثال ۱-۲

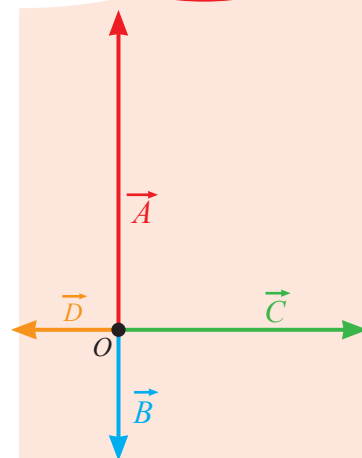
شکل ۱-۱۷ چهار بردار عمود بر هم  $\vec{A}$ ،  $\vec{B}$ ،  $\vec{C}$ ،  $\vec{D}$  را نشان می‌دهد که از نقطه‌ی مشترک O رسم شده‌اند. اگر اندازه‌ی این بردارها به ترتیب ۱۳، ۵، ۱۰ و ۴ واحد باشد، اندازه‌ی بردار برآیند آن‌ها چند واحد است؟

**حل:** شکل ۱-۱۸ بردارهای برآیند  $\vec{R}_x$  و  $\vec{R}_y$  را در دو راستای قائم و افقی نشان می‌دهد، به طوری که داریم:

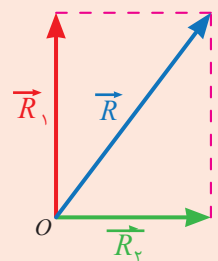
$$\vec{R}_x = \vec{A} + \vec{B} \quad \text{و} \quad \vec{R}_y = \vec{C} + \vec{D}$$

با توجه به این که اندازه‌ی بردارهای  $\vec{R}_x$  و  $\vec{R}_y$  به ترتیب ۸ و ۶ واحد است، خواهیم داشت:

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 = 8^2 + 6^2 \Rightarrow R = \sqrt{100} = 10 \text{ واحد}$$



شکل ۱-۱۷



شکل ۱-۱۸

### تمرین ۱-۲

اندازه‌ی برآیند دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  برابر ۲۵ واحد است. اگر طول بردار  $\vec{B}$  چهار برابر طول بردار  $\vec{A}$  باشد، اندازه‌ی بردار  $\vec{B}$  چند واحد است؟

### شبیه‌سازی

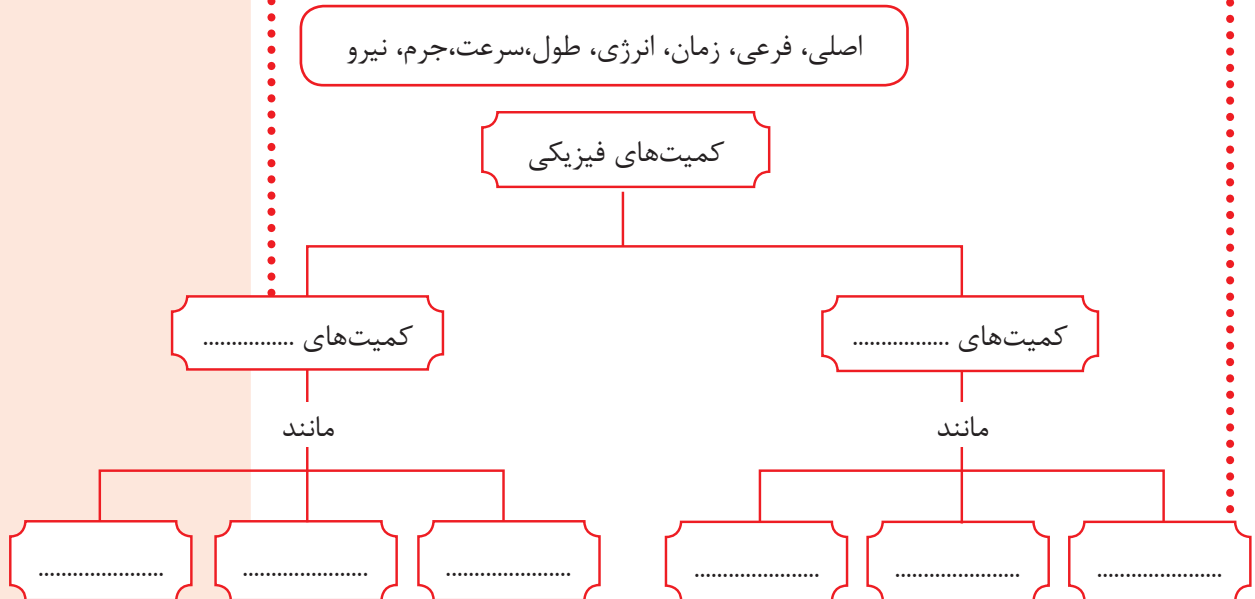


- جمع برداری
- تفریق برداری



## پرسش‌های مفهومی

۱- با استفاده از جعبه‌ی کلمه‌ها، نقشه‌ی مفهومی زیر را کامل کنید.



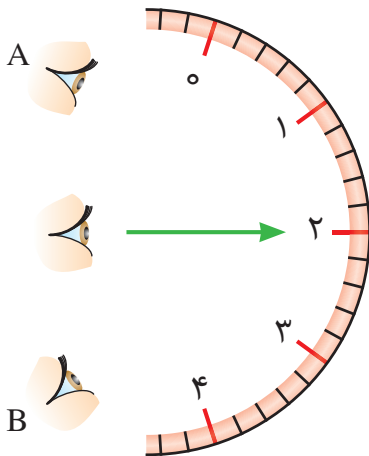
۲- گالیه در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکراری در طبیعت نام ببرید که می‌توانند به عنوان استانداردهای منطقی زمان به کار روند.

۳- سعی کنید به کمک چشم، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر تخمین بزنید. سپس آن‌ها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. تخمین‌های شما تا چه حد درست بوده‌اند؟

۴- ساعت‌های مکانیکی (با آونگ) تا قرن هفدهم میلادی هنوز اختراع نشده بودند. تحقیق کنید ایرانی‌های هادر زمان‌های قدیم از چه نوع ساعتی برای تعیین زمان استفاده می‌کردند؟

۵- به آدرس <http://www.physics.nist.gov/GenInt/Time/time.html> بروید و در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی به صورت مستند تهیه و آن‌ها را به صورت یک پوستر در کلاس درستان نصب کنید. توصیه می‌شود این فعالیت را به همراه تعدادی از دوستان خود و به صورت گروهی انجام دهید.

۶- در صورتی که از نقطه‌های A و B به عقربه‌ی سنجی شکل ۱-۱۹ نگاه کنید چه اثری روی دقت اندازه‌گیری شما می‌گذارد؟



شکل ۱-۱۹

## مسئله‌ها

۱- یکای مساحت که اغلب برای اندازه‌گیری مساحت زمین به کار می‌رود هکتار است که به صورت  $10^4 \text{ m}^2$  تعریف شده است. مساحت کوهی زمین تقریباً چند هکتار است؟ (شعاع زمین را  $6400 \text{ km}$  بگیرید.)

۲- اگر در هر قدم  $0.6 \text{ m}$  جلو بروید، برای پیمودن  $1 \text{ km}$  چند قدم باید بردارید؟

۳- مناسب‌ترین زمان برای هر جلسه کلاس درس حدود  $50$  دقیقه است. هر جلسه کلاس درس چند میکروقرن است؟

۴- دریای نور به جرم  $182$  قیراط، یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته‌شده در ایران است. این الماس به رنگ بسیار کمیاب صورتی شفاف است و در سال  $1118$  هجری شمسی توسط نادرشاه افشار به همراه کوه نور و جواهرات بسیار دیگر از هند به ایران آورده شد و هم‌اکنون در خزانه‌ی جواهرات ملی نگهداری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود  $108$  قیراط دارد و هم‌اکنون در برج لندن نگهداری می‌شود. با توجه به این که هر قیراط معادل  $200$  میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟

۵- الف) اگر قلب شما در هر دقیقه  $70$  بار بزند، در سال چند بار می‌زند؟  
 ب) اگر قلب شما در هر ثانیه  $92 \text{ cm}^3$  خون تلمبه کند و حجم کل خون شما  $5/5$  لیتر باشد، چه مدت طول می‌کشد تا این که خون شما در دستگاه گردش خون یک دور کامل بزند؟ (توجه کنید که:  $1 \text{ lit} = 1000 \text{ cm}^3$ )

۶- اگر جرم  $1 \text{ cm}^3$  آب  $1 \text{ g}$  باشد، جرم  $1 \text{ m}^3$  آب را بر حسب کیلوگرم پیدا کنید.

۷- شخصی به این صورت قدم می‌زند:  $2/2 \text{ km}$  به طرف شمال، سپس  $1/6 \text{ km}$  به طرف غرب، و سرانجام  $3/4 \text{ km}$  به طرف جنوب. نمودار برداری حرکت این شخص را رسم کنید.

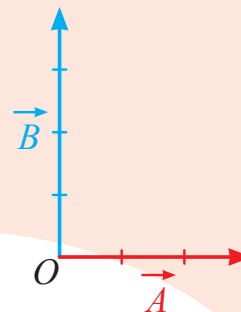
۸- برابند دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  برابر  $20$  واحد است. اگر نسبت اندازه‌های بردار  $\vec{A}$  به بردار  $\vec{B}$  برابر  $\frac{3}{4}$  باشد، اندازه‌ی بردار  $\vec{A}$  چند واحد است؟

۹- بردار  $\vec{A}$  به طول  $2$  واحد در شکل ۲۰-۱ رسم شده است. بردار  $\vec{A}$  را  $3/5$  رسم کنید.

۱۰- برای دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  در شکل ۲۱-۱ داریم  $A=3$  و  $B=4$  واحد. بزرگی برابند این دو بردار را پس از رسم، یک‌بار با محاسبه و بار دیگر با خط‌کش به دست آورید.



شکل ۲۰-۱

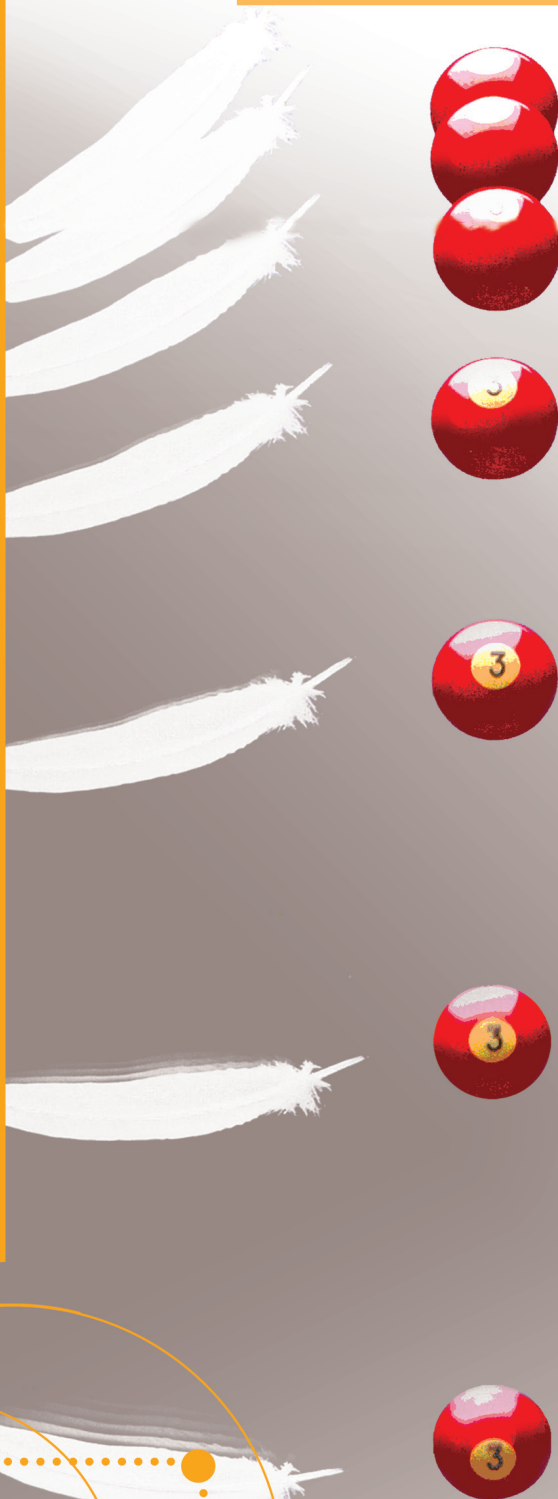


شکل ۲۱-۱



# فصل اول

## حرکت روی خط راست



در چه شرایطی یک پر و یک گوی ارتفاع  
یکسانی را در زمان مساوی طی می کنند؟

## سیمای فصل

۱-۲ مکان و جابه‌جایی

۲-۲ سرعت متوسط

۳-۲ حرکت یکنواخت روی خط راست

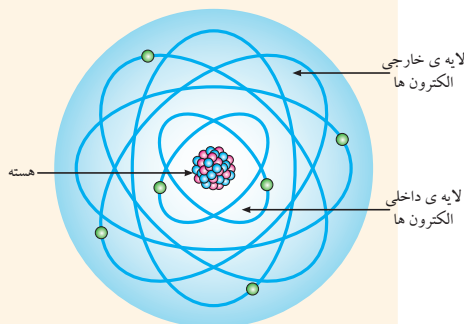
۴-۲ شتاب

۵-۲ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

۶-۲ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها

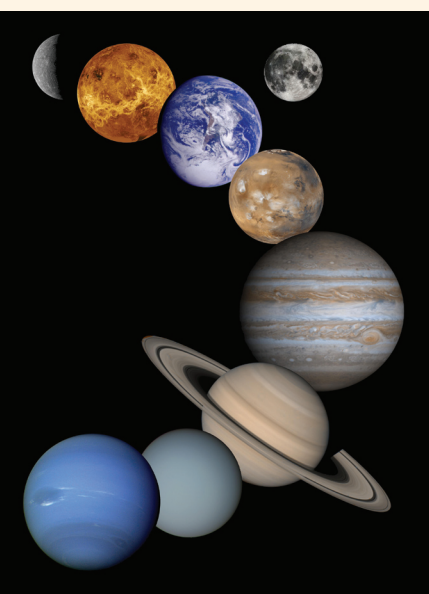


## حرکت روی خط راست

جهان و هرچه در اوست همواره در حرکت اند. زمین، افزون بر آن که به دور خود می چرخد، به دور خورشید نیز دوران می کند. خورشید به دور مرکز کهکشان راه شیری و کهکشان راه شیری نسبت به کهکشان های دیگر حرکت می کند. کوچک ترین جزء سازنده ی ماده، یعنی اتم، از ذره های بسیار ریزی تشکیل شده است که آن ها نیز همواره در حرکت اند (شکل ۱-۲). در این فصل علاوه بر آشنایی با مفاهیم بنیادی حرکت به توصیف و بررسی حرکت جسم روی خط راست نیز خواهیم پرداخت.

### ۱-۲ مکان و جابه جایی

برای بررسی حرکت هر جسم ابتدا لازم است مکان آن را نسبت به یک نقطه ی مرجع تعیین کنیم. در صورتی که حرکت جسم در یک بعد و روی خط راست باشد نقطه ی مرجع اغلب مبدأ (یا نقطه ی صفر) محوری مانند محور  $x$  در شکل ۲-۲ در نظر گرفته می شود. **جهت مثبت** حرکت در جهت افزایش عددها (مختصات) است که در شکل ۲-۲ به سمت راست در نظر گرفته شده است. جهت مخالف آن **جهت منفی** حرکت است.



شکل ۱-۲ حرکت اجسام در مقیاس های بسیار کوچک و بسیار بزرگ



شکل ۲-۲ مکان جسمی که روی یک محور تعیین می شود بر حسب یکای طول (در اینجا متر) نشانه گذاری می شود و در دو جهت تا بی نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا  $x$ ، همواره در قسمت مثبت مبدأ قرار دارد.

به عنوان مثال، اگر ذره ای در  $x=4\text{m}$  قرار داشته باشد، به معنای آن است که به فاصله ی  $4\text{m}$  در طرف مثبت مبدأ قرار دارد. اگر ذره در  $x=-4\text{m}$  باشد، در این صورت به همان فاصله از مبدأ ولی در طرف مخالف واقع است. در صورتی که ذره ای در طرف مثبت مبدأ قرار داشته باشد لزومی ندارد علامت مثبت را برای مختصه ی مکان بگذارید ولی در صورتی که ذره یا جسم در سمت منفی مبدأ باشد علامت منفی حتماً باید برای مختصه ی مکان نشان داده شود.

با توجه به این ویژگی مکان، برای هر وضعیت جسم نسبت به مبدأ مختصات بردار مکان تعریف

می‌شود. برداری که از مبدا مختصات به مکان جسم رسم شود بردار مکان نامیده می‌شود.

شکل ۳-۲ الف و ب بردار مکان مربوط به ذره‌ی متحرکی را به ترتیب در مکان‌های  $x = 2\text{m}$  و  $x = -3\text{m}$  نشان می‌دهد.



### مثال ۱-۲

شکل ۳-۲ بردار مکان از مبدا مختصات به مکان جسم رسم می‌شود.

جسمی که در امتداد محور  $X$  در حرکت است در هریک از لحظه‌های  $t_1, t_2, t_3$  و  $t_4$  به ترتیب در مکان‌های  $-3\text{m}$ ،  $-1\text{m}$ ،  $2\text{m}$  و  $0$  قرار دارد. الف) مکان متحرک را در هریک از این لحظه‌ها روی محور  $X$  تعیین کنید. ب) مختصه‌ی مکان متحرک را به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر بنویسید. پ) در کدام بازه‌ی زمانی جهت حرکت متحرک مثبت و در کدام بازه‌ی زمانی منفی است؟

**حل:** الف) شکل ۴-۲ مکان متحرک را در لحظه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲

ب) مختصه‌ی  $-3\text{m}$ ، کوچک‌تر از  $-1\text{m}$  است. همین‌طور مختصه‌ی  $-1\text{m}$  کوچک‌تر از  $0$  و  $2\text{m}$  است. بنابراین مختصه‌ی مکان متحرک به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر به صورت  $-3\text{m}$ ،  $-1\text{m}$ ،  $0\text{m}$  و  $2\text{m}$  است.

پ) در بازه‌ی زمانی  $t_1$  تا  $t_2$  جهت حرکت مثبت و در بازه‌ی زمانی  $t_2$  تا  $t_3$  جهت حرکت منفی است. توجه کنید در بازه‌ی زمانی  $t_3$  و  $t_4$  متحرک از مکان  $x = 2\text{m}$  به مکان  $x = 0$  برگشته است.

**جابه‌جایی:** تغییر مکان متحرک از  $x_1$  به مکان دیگر  $x_2$ ، جابه‌جایی  $\Delta x$  نامیده می‌شود که

برابر است با

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

هرگاه متحرک در جهت مثبت محور  $X$  حرکت کند جابه‌جایی مثبت است (به سمت راست شکل ۲-۲)،

و در صورتی که در جهت منفی محور  $X$  حرکت کند جابه‌جایی منفی است (به سمت چپ شکل ۲-۲).

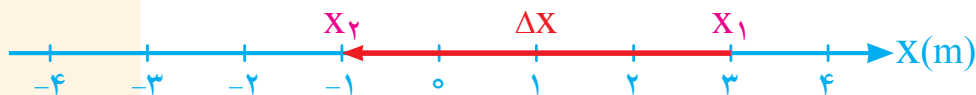
برای مثال، اگر ذره‌ای از  $x_1 = 4\text{m}$  به  $x_2 = 11\text{m}$  حرکت کند، آنگاه  $\Delta x = (11\text{m}) - (4\text{m}) = +7\text{m}$ . نتیجه‌ی مثبت بدان معناست که حرکت یا جابه‌جایی در جهت مثبت بوده است. ولی اگر ذره‌ای از  $x_1 = 4\text{m}$  به  $x_2 = 1\text{m}$  برود، آنگاه  $\Delta x = (1\text{m}) - (4\text{m}) = -3\text{m}$ . نتیجه‌ی منفی نشان می‌دهد که حرکت یا جابه‌جایی ذره در جهت منفی بوده است. نکته‌ی مهمی که در اینجا باید به آن توجه شود آن است که جابه‌جایی یک متحرک تنها به نقطه‌های آغازی و پایانی آن بستگی دارد و مقدار مسافت پیموده‌شده در طی حرکت مهم نیست.

برای روشن‌تر شدن این موضوع فرض کنید ذره‌ای از  $x = 3\text{m}$  تا  $x = 15\text{m}$  حرکت کند و سپس به  $x = 3\text{m}$  برگردد، در این صورت جابه‌جایی از آغاز تا پایان حرکت برابر است با  $\Delta x = (3\text{m}) - (3\text{m}) = 0$ . همان‌طور که دیده می‌شود مسافت پیموده شده توسط متحرک  $24\text{m}$  است (چرا؟) در صورتی که جابه‌جایی آن صفر است. زیرا به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است. علامت مثبت جابه‌جایی لازم نیست نشان داده شود ولی علامت منفی باید همواره نشان داده شود. برای مثال  $\Delta x = +3\text{m}$  و  $\Delta x = 3\text{m}$  هر دو به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی  $3\text{m}$  در جهت مثبت محور  $x$  است در صورتی که  $\Delta x = -3\text{m}$  به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی  $3\text{m}$  در جهت منفی محور  $x$  است. به این ترتیب همان‌طور که دیده می‌شود اندازه یا بزرگی جابه‌جایی‌های  $\Delta x = 3\text{m}$  و  $\Delta x = -3\text{m}$  مساوی و برابر  $3\text{m}$  است در حالی که جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است. بنابراین

**جابه‌جایی کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.**

### ..... مثال ۲-۲

مکان آغازی و پایانی ذره‌ی متحرکی به ترتیب  $x_1 = 3\text{m}$  و  $x_2 = -1\text{m}$  است. بردار جابه‌جایی این متحرک را روی محور  $x$ ‌ها نشان دهید.  
**حل:** کافی است مکان آغازی و پایانی متحرک را روی محور  $x$  تعیین و سپس این دو نقطه را توسط یک بردار به هم وصل کنیم.



شکل ۲-۵ بردار جابه‌جایی،  $\Delta x = (-1\text{m}) - (3\text{m}) = -4\text{m}$ ، بزرگی این بردار  $4\text{m}$  و جهت آن به سمت چپ است.

هشدار: توجه کنید که  $\Delta x$  حاصل ضرب  $\Delta$  در  $x$  نیست، بلکه این یک تک‌نماد است با معنای «تغییر در کمیت  $x$ ». همواره برای نمایش تغییر در یک کمیت از حرف یونانی  $\Delta$  (دلتا) استفاده می‌کنیم. تغییر در یک کمیت برابر است با مقدار پایانی کمیت منهای مقدار آغازی آن و هرگز برعکس نیست.

### شبیه‌سازی



• بردار جابه‌جایی

در پایان این بخش نگاهی خواهیم داشت به این که اساساً حرکت امری نسبی است. به این منظور فرض کنید که درون اتوبوس در حال حرکتی نشسته‌اید. شخصی که روی صندلی مقابل شماست از نظر شما هیچ‌گونه حرکتی ندارد و ساکن است. در حالی که همین شخص از دید کسی که در بیرون اتوبوس در کنار خیابان ایستاده است و از پنجره‌ی اتوبوس او را می‌بیند ساکن نیست و همراه اتوبوس در حال حرکت است. با توجه به مثال‌هایی از این قبیل می‌توان نتیجه گرفت که سکون و حرکت هر جسم نسبت به اجسام دیگر سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر **حرکت و سکون مفاهیمی نسبی‌اند**. به طور کلی اگر بردار مکان ذره‌ای در یک دستگاه مختصات معین با گذشت زمان تغییر نکند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه ساکن است. ولی اگر بردار مکان ذره با گذشت زمان تغییر کند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه در حال حرکت است.

## ۲-۲ سرعت متوسط

فرض کنید ذره‌ی متحرکی در لحظه‌ی  $t_1$  در مکان  $x_1$  و در لحظه‌ی  $t_2$  در مکان  $x_2$  واقع است (شکل ۲-۶). بنابر تعریف نسبت جابه‌جایی ذره،  $\Delta x = x_2 - x_1$ ، به بازه‌ی زمانی این جابه‌جایی،  $\Delta t = t_2 - t_1$ ، **سرعت متوسط** ذره نامیده می‌شود. یعنی

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

که در این رابطه  $\bar{v}$  نماد سرعت متوسط است و یکای آن در SI، متر بر ثانیه (m/s) است.



شکل ۲-۶

از آنجاکه  $\Delta t = t_2 - t_1$  همواره مقداری مثبت است لذا جابه‌جایی و سرعت متوسط دارای یک علامت‌اند. به بیان دیگر، سرعت متوسط نیز کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. برای مثال، اگر جهت جابه‌جایی متحرک به طرف مثبت محور  $x$  باشد، جهت سرعت متوسط نیز به همین طرف است.

## ..... مثال ۲-۳

متحرکی در لحظه‌ی  $t_1 = 0$  از مبدأ زمان می‌گذرد و در لحظه‌ی  $t_2 = 2s$  به ۸ متری مبدأ می‌رسد. سرعت متوسط متحرک را در این بازه‌ی زمانی پیدا کنید.

**حل:** ابتدا داده‌های مسئله را می‌نویسیم

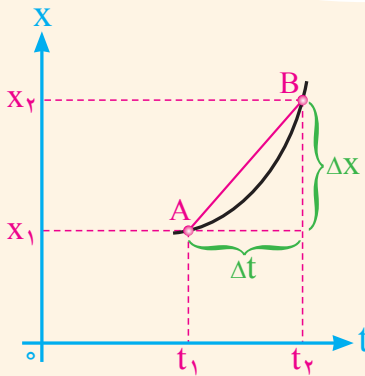
$$(t_1 = 0 \text{ و } x_1 = 0) \text{ و } (t_2 = 2s \text{ و } x_2 = 8m)$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(8m) - (0)}{(2s) - (0)} = 4m/s$$

توجه کنید که مقدار سرعت متوسط ۴m/s و جهت آن به طرف مثبت محور  $x$  است.

## مثال ۲-۴



شکل ۲-۷

مکان جسمی را که روی یک خط راست، مثلاً محور  $x$  ها، حرکت می کند می توان مانند شکل ۲-۷ بر حسب زمان روی نموداری رسم کرد. نمودار حاصل را نمودار مکان-زمان و یا به اختصار نمودار  $x-t$  می نامند. در این نمودار محور افقی برای نشان دادن زمان به کار رفته است و مبدأ آن، با عدد صفر مشخص شده است. همین طور محور قائم برای نشان دادن مکان جسم به کار رفته است.

الف) مزیت این نمودار چیست؟

ب) شیب پاره خط  $AB$  را در این نمودار به دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان دهنده ی چه کمیتی است؟

**حل:** الف) از نمودار مکان-زمان می توان دریافت که در یک زمان معین جسم کجا بوده است، یعنی مکانش چه بوده یا چه وقت جسم در مکان معینی قرار داشته است. دقت کنید که نمودار مکان-زمان شکل ۲-۷ را به عنوان نمودار مسیر حرکت جسم روی صفحه در نظر نگیرید! در اینجا مسیر حرکت جسم روی خط راست است که بر محور  $x$  منطبق است.

ب) از روی نمودار شکل ۲-۷ پیداست که شیب پاره خط  $AB$  برابر است با:

$$\text{شیب پاره خط } AB = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

که در واقع همان سرعت متوسط متحرک است.

## مثال ۲-۵

معادله ی مکان-زمان جسمی که در امتداد محور  $x$  حرکت می کند در SI به صورت  $x = 2t^2 - t + 4$  است. سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه ی  $t_1 = 2s$  و  $t_2 = 4s$  چقدر است؟

**حل:** ابتدا مکان متحرک را در دو لحظه ی مورد نظر پیدا می کنیم:

$$x_1 = 2(2)^2 - 2 + 4 = 10 \text{ m}$$

$$x_2 = 2(4)^2 - 4 + 4 = 32 \text{ m}$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(32 \text{ m}) - (10 \text{ m})}{(4 \text{ s}) - (2 \text{ s})} = 11 \text{ m/s}$$

هشدار: همواره یکاها را در محاسبه های خود بنویسید. هنگامی که در یک مسئله به انجام محاسبه هایی با استفاده از عددها و یکاها نیاز باشد همواره عددها را با یکاهای درست بنویسید و با یکاها در تمام محاسبه ها مانند مثال ۲-۵ رفتار کنید. این کار آزمون بسیار مفیدی برای محاسبه هاست. اگر در مرحله ای از یک محاسبه دریافتید که یک معادله یا رابطه دارای یکاهای ناسازگار است متوجه می شوید که در جایی اشتباه کرده اید. در این کتاب همواره یکاها را در تمامی محاسبه ها وارد می کنیم و به شما قویاً توصیه می کنیم که هرگاه مسئله ای حل می کنید همین کار را انجام دهید.

## مثال ۲-۷

شناگری طول یک استخر ۲۵ متری را در مدت ۴۰ ثانیه رفته و در مدت ۵۰ ثانیه برگشته است. سرعت متوسط این شناگر در طول مسیر رفت و برگشت چقدر است؟

**حل:** چون شناگر پس از طی طول استخر در دو مرحله‌ی رفت و برگشت، به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است لذا جابه‌جایی آن  $\Delta x = 0$  است. بنابراین سرعت متوسط شناگر نیز در طول مسیر رفت و برگشت صفر خواهد بود. توجه کنید تعریف سرعت متوسط در فیزیک با تعریفی که در مسابقه‌های ورزشی یا در جاهای دیگر استفاده می‌شود متفاوت است. برای مثال در مسابقه‌های ورزشی مانند شنا، نسبت مسافت پیموده شده (نه جابه‌جایی) به زمان انجام آن سرعت متوسط یا سرعت میانگین نامیده می‌شود که در این کتاب از این تعریف استفاده نمی‌شود.

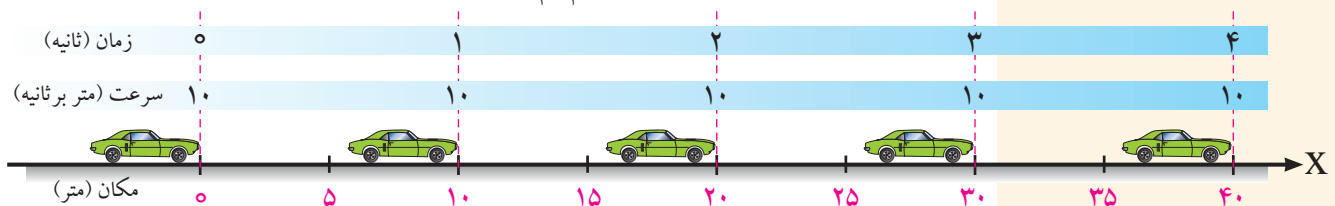
## فعالیت ۲-۱

در صورتی که جسمی حرکت نکند، یعنی ساکن باشد، نمودار مکان-زمان آن را رسم کنید.

## ۲-۳ حرکت یکنواخت روی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که روی خط راست در حرکت است. مکان این اتومبیل در زمان‌های مختلف مشخص شده است (شکل ۲-۸). سرعت متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه محاسبه شده و در جدول ۲-۱ آمده است. به طوری که می‌بینید سرعت متوسط این اتومبیل در هر بازه‌ی زمانی دلخواه ثابت است. اگر سرعت متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با سرعت ثابت حرکت می‌کند. در این صورت سرعت در هر لحظه با سرعت متوسط متحرک برابر است، یعنی  $v = \bar{v}$ . با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$



اگر لحظه‌ی  $t_1$  را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی  $t_1 = 0$ ، و مکان اولیه‌ی متحرک را نسبت به مبداء با  $x_0$  نشان دهیم ( $x_1 = x_0$ )، خواهیم داشت:

$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad \text{یا} \quad x = vt + x_0$$

که در آن  $x$  مکان متحرک در لحظه‌ی  $t$  است. این معادله را، معادله‌ی حرکت یکنواخت روی خط راست می‌نامند.

شکل ۲-۸ حرکت یکنواخت اتومبیلی در امتداد محور  $x$



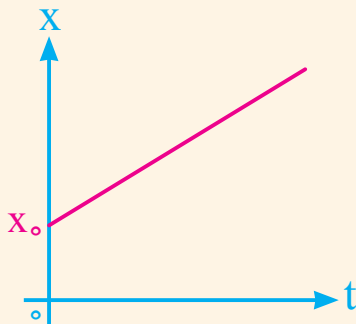
جدول ۱-۲ سرعت متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

لحظه‌ی آغازی $t_1$ (s)	لحظه‌ی پایانی $t_2$ (s)	بازه‌ی زمانی $\Delta t$ (s)	جابه‌جایی $\Delta x$ (m)	سرعت متوسط $\bar{v} = \Delta x / \Delta t$ (m/s)
۰	۱	$1-0=1$	$10-0=10$	$10/1=10$
۱	۲	$2-1=1$	$20-10=10$	$10/1=10$
۲	۴	$4-2=2$	$40-20=20$	$20/2=10$
۰	۴	$4-0=4$	$40-0=40$	$40/4=10$

## آزمایشگاه مجازی



● حرکت در یک بعد (مرد متحرک)



شکل ۹-۲ نمودار مکان-زمان حرکت  
یکنواخت روی خط راست. در این نمودار  $x_0$   
مقداری مثبت و در طرف راست مبدأ است.

## ..... مثال ۷-۲

نمودار مکان-زمان جسمی که با سرعت ثابت (به‌طور یکنواخت) روی یک خط راست در جهت محور  $x$  حرکت می‌کند، رسم کنید. (فرض کنید در مبدأ زمان متحرک در فاصله‌ی  $x_0$  از طرف راست مبدأ مکان است.)

**حل:** چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان باید همواره مقدار ثابتی باشد. پس نمودار  $x-t$  یک خط راست است که در شکل ۹-۲ رسم شده است. روشن است که هرچه سرعت متحرک بیش‌تر باشد شیب نمودار مکان-زمان نیز بیش‌تر خواهد شد. (چرا؟)

## ..... مثال ۸-۲

معادله‌ی حرکت متحرکی در SI به صورت  $x = 12t - 24$  است.

(الف) جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

(ب) در چه لحظه‌ای متحرک به مبدأ مکان می‌رسد؟

(پ) نمودار مکان-زمان متحرک را رسم کنید.

**حل:** (الف) مکان متحرک در لحظه‌های  $t=0$  و  $t=1$  s به ترتیب برابر است با:

$$x_1 = x_0 = 12 \times 0 - 24 = -24 \text{ m}$$

$$x_2 = x = 12 \times 1 - 24 = -12 \text{ m}$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت برابر است با:

$$\Delta x = x - x_0 = (-12 \text{ m}) - (-24 \text{ m}) = 12 \text{ m}$$

(ب) وقتی متحرک به مبدأ مکان می‌رسد که  $x=0$  باشد بنابراین با استفاده از معادله‌ی

مکان-زمان در مبدأ مکان داریم:

$$0 = 12t - 24 \Rightarrow t = 2 \text{ s}$$

پ) برای رسم نمودار کافی است مختصات دو مکان متحرک را در دو لحظه‌ی دلخواه روی

نمودار  $x-t$  تعیین کنید (شکل ۲-۱۰).

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$
۰	-۲۴
۲	۰

### مثال ۲-۹

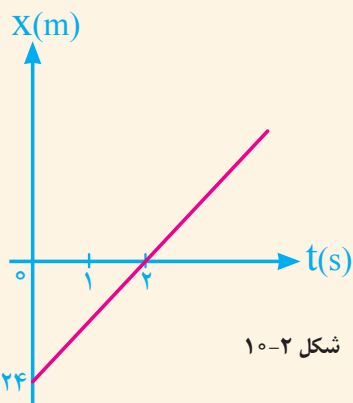
اتومبیلی با سرعت ثابت  $72 \text{ km/h}$  در امتداد خط راست حرکت می‌کند. چه مدت طول می‌کشد تا جابه‌جایی اتومبیل برابر  $500$  متر باشد؟

**حل:** ابتدا یکای سرعت را از  $\text{km/h}$  به  $\text{m/s}$  تبدیل می‌کنیم. در نتیجه داریم:

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 72 \times \frac{10}{36} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \text{ m/s}$$

با استفاده از معادله‌ی حرکت یکنواخت  $x = vt + x_0$  خواهیم داشت:

$$\Delta x = x - x_0 = vt \Rightarrow 500 \text{ m} = (20 \text{ m/s})t \Rightarrow t = 25 \text{ s}$$



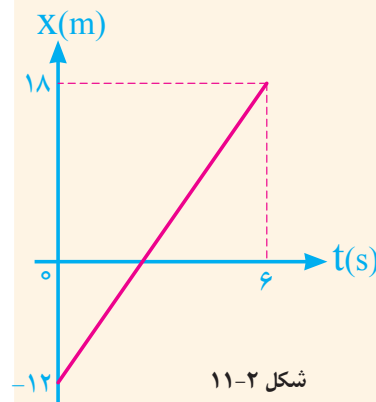
### تمرین ۲-۱

شکل ۲-۱۱ نمودار مکان-زمان متحرکی را در  $6$  ثانیه‌ی اول حرکت نشان می‌دهد.

الف) نوع حرکت متحرک را تعیین کنید.

ب) معادله‌ی حرکت متحرک را بنویسید.

پ) جابه‌جایی متحرک در  $2$  ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟



### ۲-۴ شتاب متوسط

هرگاه سرعت متحرکی تغییر کند، گفته می‌شود که ذره شتاب گرفته یا حرکت آن شتابدار است

(شکل ۲-۱۲). برای حرکت در راستای یک خط راست، شتاب متوسط  $\bar{a}$  در بازه‌ی زمانی  $\Delta t$

عبارت است از:

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان لازم برای تغییر سرعت}}$$

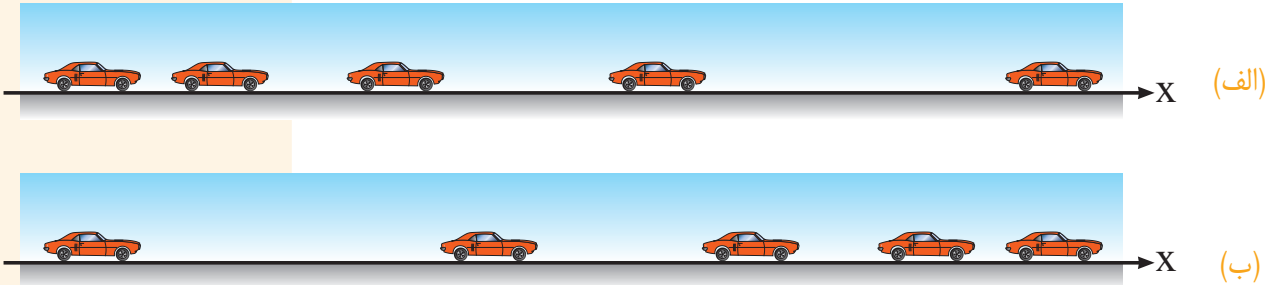
$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

که در آن متحرک در لحظه‌ی  $t_i$  دارای سرعت  $v_i$  و در لحظه‌ی  $t_f$  دارای سرعت  $v_f$  است. یکای

شتاب در SI متر بر مجذور ثانیه است که با نماد  $\text{m/s}^2$  نشان داده می‌شود.

## فصل دوم / حرکت روی خط راست

شتاب نیز مانند جابه‌جایی و سرعت کمیتی برداری است؛ یعنی هم دارای بزرگی و هم دارای جهت است. علامت جبری شتاب جهت آن را روی یک محور نمایش می‌دهد. شتاب با مقدار مثبت در جهت مثبت محور و شتاب با مقدار منفی در جهت منفی محور است.



شکل ۱۲-۲ حرکت شتابدار اتومبیل ناشی از افزایش سرعت (شکل الف) و ناشی از کاهش سرعت (شکل ب).

### ..... مثال ۱-۲

اتومبیلی از حال سکون در امتداد محور X شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸ ثانیه سرعت آن به  $24 \text{ m/s}$  می‌رسد. شتاب متوسط آن را حساب کنید.

**حل:** با توجه به فرض‌های مسئله و تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\Delta v = v_f - v_i = (24 \text{ m/s}) - (0) = 24 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 8 \text{ s}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{24 \text{ m/s}}{8 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که شتاب اتومبیل در جهت مثبت محور X است.

### ..... مثال ۱۱-۲

اگر سرعت لحظه‌ای جسمی را که روی یک خط راست حرکت می‌کند مانند شکل ۱۳-۲ بر حسب زمان روی یک نمودار رسم کنیم، نمودار حاصل را نمودار سرعت-زمان یا نمودار  $v-t$  می‌نامند.

الف) مزیت نمودار  $v-t$  چیست؟

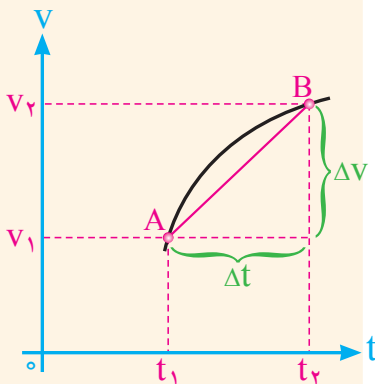
ب) شیب پاره خط AB را در این نمودار به دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

**حل:** الف) از این نمودار می‌توان سرعت جسم را در هر لحظه معین کرد.

ب) از این نمودار پیدا است که شیب پاره خط AB برابر است با:

$$\text{شیب پاره خط AB} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

با توجه به تعریف شتاب متوسط، شیب پاره خط AB همان شتاب متوسط جسم در حال حرکت است.



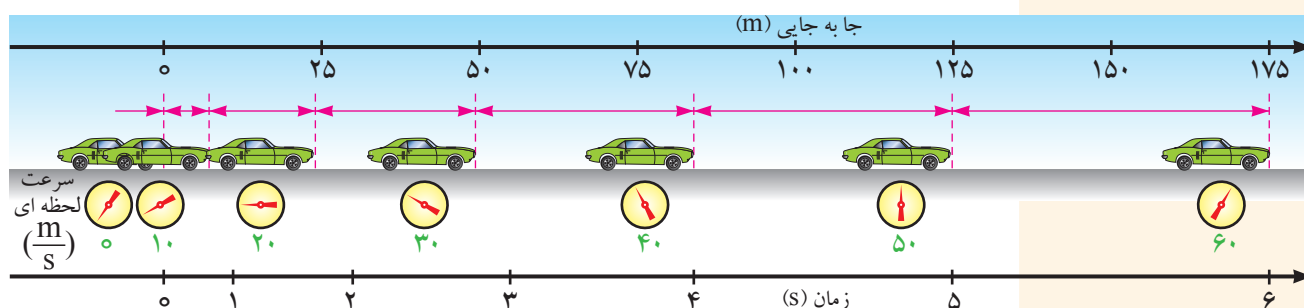
شکل ۱۳-۲

## تمرین ۲-۲

شتاب متوسط متحرکی که در مدت ۵/۰ ثانیه سرعت آن از ۱ cm/s به ۹۹ cm/s می‌رسد چند  $m/s^2$  است؟

## ۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

شکل ۲-۱۴ اتومبیلی را نشان می‌دهد که روی یک خط راست در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند. در جدول ۲-۲ شتاب متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه حساب شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط این اتومبیل در تمام بازه‌های زمانی یکسان است. اگر شتاب متوسط متحرکی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که در این حرکت تغییر سرعت در هر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.



شکل ۲-۱۴ حرکت با شتاب ثابت

به این ترتیب در صورتی که شتاب متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با شتاب ثابت حرکت می‌کند. پس شتاب در هر لحظه با شتاب متوسط برابر است، یعنی

$a = \bar{a}$  با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$a = \bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

اگر لحظه‌ی  $t_i$  را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی  $t_i = 0$ ، و سرعت اولیه‌ی متحرک را با  $v_0$  نشان

دهیم، خواهیم داشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad \text{یا} \quad v = at + v_0$$

که در آن  $v$  سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t$  است. این معادله را، معادله‌ی سرعت - زمان حرکت با شتاب ثابت روی خط راست می‌نامند.

جدول ۲-۲ شتاب متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

لحظه‌ی آغازی $t_i (s)$	لحظه‌ی پایانی $t_f (s)$	بازه‌ی زمانی $\Delta t (s)$	تغییر سرعت $\Delta v (m/s)$	شتاب متوسط $\bar{a} = \Delta v / \Delta t (m/s^2)$
۰	۱	۱-۰=۱	۱۰-۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۱	۲	۲-۱=۱	۲۰-۱۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۳	۵	۵-۳=۲	۵۰-۳۰=۲۰	۲۰/۲=۱۰

### فعالیت عملی



● بررسی حرکت شتاب ثابت

### شبیه‌سازی



● مقایسه‌ی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت

### مثال ۲-۱۲

موتور سواری با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  بر مسیری مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. پس از  $10$  ثانیه سرعت آن چقدر خواهد شد؟

**حل:** باتوجه به داده‌های مسئله داریم:

$$a = 2 \text{ m/s}^2 \quad \text{و} \quad v_0 = 0 \quad \text{و} \quad t = 10 \text{ s} \quad \text{و} \quad v = ?$$

$$v = at + v_0 = (2 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s}) + 0 = 20 \text{ m/s}$$

حرکت این موتور سوار **تند شونده** است زیرا همان‌طور که دیده می‌شود سرعت آن با گذشت زمان افزایش یافته است.

### مثال ۲-۱۳

اتومبیلی با سرعت  $54 \text{ km/h}$  در حرکت است. راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از مدت  $10$  ثانیه می‌ایستد. اگر شتاب اتومبیل در این مدت ثابت باشد مقدار آن را حساب کنید.

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

**حل:**

$$t = 10 \text{ s} \quad \text{و} \quad v = 0 \quad \text{و} \quad a = ?$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow 0 = a \times (10 \text{ s}) + (15 \text{ m/s}) \Rightarrow a = -1.5 \text{ m/s}^2$$

حرکت این اتومبیل **کند شونده** است زیرا سرعت آن با گذشت زمان کاهش یافته است.

### مثال ۲-۱۴

شکل ۲-۱۵ نمودار سرعت-زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

(الف) چرا شتاب متحرک ثابت است؟

(ب) شتاب متحرک و معادله‌ی سرعت-زمان آن را پیدا کنید.

(پ) سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t = 2 \text{ s}$  چقدر است؟

**حل:** (الف) با توجه به معادله‌ی  $v = at + v_0$  از آنجا که نمودار  $v-t$  متحرک به صورت خطی

با شیب ثابت است، شتاب آن نیز باید ثابت باشد.

(ب) با توجه به داده‌های روی نمودار شکل ۲-۱۵ داریم:

$$(t = 0 \text{ s و } v_0 = 4 \text{ m/s}) \quad \text{و} \quad (t = 3 \text{ s و } v = 10 \text{ m/s})$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow 10 \text{ m/s} = a(3 \text{ s}) + (4 \text{ m/s}) \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

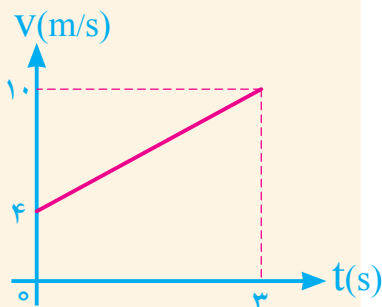
پس معادله‌ی  $v-t$  متحرک در SI به صورت  $v = 2t + 4$  خواهد شد.

(پ) در لحظه‌ی  $t = 2 \text{ s}$  داریم:

$$v = (2 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s}) + (4 \text{ m/s}) = 8 \text{ m/s}$$

**هشدار:** بسیار مراقب باشید که شتاب و سرعت را باهم اشتباه نگیرید. سرعت توصیف می‌کند که مکان یک جسم با زمان چگونه تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جسم چقدر سریع و در چه جهتی حرکت می‌کند. شتاب توصیف می‌کند که سرعت چگونه با زمان تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جهت حرکت و بزرگی سرعت چگونه تغییر می‌کنند. به خاطر سپردن این گزاره می‌تواند سودمند باشد که «ارتباط شتاب با سرعت همانند ارتباط سرعت با مکان است.»

همچنین سودمند است که خود را در حال راندن همراه با یک جسم متحرک تصور کنید. اگر جسم رو به جلو شتاب بگیرد و سرعت خود را افزایش دهد، احساس می‌کنید که در صندلی خود به عقب فشرده می‌شوید. اگر جسم به عقب شتاب بگیرد و از سرعت خود بکاهد احساس می‌کنید که به جلو هل داده می‌شوید. اگر سرعت ثابت باشد و شتابی در کار نباشد هیچ یک از این دو حس را نخواهید داشت. (دلیل این احساس را در فصل بعد خواهید یافت.)



شکل ۲-۱۵

**معادله‌ی مکان-زمان:** علاوه بر معادله‌ی سرعت-زمان که با آن آشنا شدیم، معادله‌ی مکان-زمان نیز در توصیف و حل مسائل حرکت با شتاب ثابت مفیداست. از آنجا که در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در دو لحظه‌ی دلخواه برابر  $\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2}$  است، داریم

$$\left. \begin{aligned} \bar{v} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ \bar{v} &= \frac{v_1+v_2}{2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta x = \left( \frac{v_1+v_2}{2} \right) \Delta t$$

اگر در لحظه‌ی  $t_i=0$  مکان اولیه‌ی متحرک  $x_0$  و سرعت آن  $v_0$  و همچنین در لحظه‌ی  $t$  مکان متحرک  $x$  و سرعت آن  $v$  باشد، داریم:

$$x = \left( \frac{v+v_0}{2} \right) t + x_0$$

با جای گذاری  $v=at+v_0$  در رابطه‌ی بالا داریم:

$$x = \left( \frac{at+v_0+v_0}{2} \right) t + x_0$$

یا

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

به این رابطه، معادله‌ی مکان-زمان یا مستقل از سرعت در حرکت با شتاب ثابت می‌گویند. همان‌طور که دیده می‌شود معادله‌ی مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت تابعی درجه دوم از زمان است.

### ..... مثال ۲-۱۵

معادله‌ی مکان-زمان متحرکی در SI به صورت زیر است:

$$x = t^2 + 2t + 1$$

(الف) شتاب، سرعت اولیه و مکان اولیه‌ی متحرک را تعیین کنید.

(ب) سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t=2s$  چقدر است؟

**حل:** (الف) با مقایسه‌ی این معادله با معادله‌ی مکان-زمان حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$x_0 = 1m \quad \text{و} \quad v_0 = 2m/s \quad \text{و} \quad a = 2m/s^2$$

(ب) با استفاده از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 = (2m/s^2)(2s) + (2m/s) = 6m/s$$

**معادله‌ی سرعت-مکان:** برای یافتن  $t$  از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow t = \frac{v-v_0}{a}$$

با جای گذاری  $t$  در معادله‌ی مکان-زمان خواهیم داشت:

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



حکیم ابن سینا (۳۵۹ شمسی-۴۱۶ شمسی) که در غرب به اوی سینا (Avicenna) معروف است، در آفشنه نزدیک بخارا متولد شد و در همدان وفات یافت. پدرش کارمند حکومت وقت بود و خانه‌اش محل ملاقات و گفت‌وگوی علاقه‌مندان علم و کمال. او هوش سرشاری داشت و به سرعت علوم زمان خود را فراگرفت و از ۱۶ سالگی به کار طبابت پرداخت.

ابن سینا در علوم گوناگون زمانه‌ی خود تالیف‌های بسیاری دارد و آثار او متجاوز از ۲۷۰ عنوان است. مهم‌ترین اثر فلسفی ابن سینا کتاب «شفا» است که دانش‌نامه‌ی عظیمی است در چهار بخش شامل منطق، طبیعیات (فیزیک)، ریاضیات (هندسه، حساب، موسیقی و نجوم) و مابعد الطبیعه (متافیزیک). ابن سینا، هم‌چون دانشمندان یونانی، فیزیک را مطالعه‌ی اجسام طبیعی و حرکت می‌دانست.

ابن سینا معتقد بود که: «قوای که در جسم جای گیرند بر سه نوع اند. برای مثال نوع اول قوای است که در همه‌ی اجسام سریان دارند و کمالات، شکل، مکان طبیعی و اعمال آن‌ها را حفظ می‌کنند. اگر اجسام از مکان طبیعی خود دور شوند یا به نحوی شکل طبیعی خود را از دست دهند، این قوا به وضع پیشین برشان می‌گردانند و بدان وضع نگاهشان می‌دارند و این امر بدون معرفت و قصد اختیاری صورت می‌گیرد.» او هم چنین می‌گوید: «سکون فقدان حرکت است در اجسامی که بالقوه پذیرای حرکت باشند، بنا بر این سکون را نمی‌توان صرفاً نفی حرکت



با ساده کردن این رابطه داریم:

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

دانست. همه‌ی حرکات جسم از علتی که متمایز از جسم است ناشی می‌شوند؛ جسم به خودی خود هیچ حرکتی ندارد. حرکت را منحصرأ باید ناشی از علت آن دانست.»

وی در زندگی نامه‌ای که خود نوشته است می‌گوید: کتاب قانون را در گرگان آغاز کرده، بخشی از آن را در ری، زادگاه رازی، نوشته و آن را در همدان به پایان رسانده است. طیبیان این کتاب را (که بزرگ‌ترین اثر طبی این سیناست) بسیار می‌پسندیدند و آن را بر کتاب «حای» تالیف رازی و حتی آثار جالینوس ترجیح می‌دادند. در کتاب قانون ضمن شرح دستاوردهای عمده‌ی پزشکی روم و یونان، فهرست ۷۶ دارو و فرآورده‌های پزشکی به طور نظام مند فراهم آمده است.

این رابطه، معادله‌ی سرعت- مکان یا مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت نامیده می‌شود. در این معادله، مکان جسم در دو وضعیت اختیاری، به سرعت جسم در آن مکان‌ها مربوط شده است. توجه کنید که ترتیب نوشتن مکان‌ها و سرعت‌ها مشابه است. همان‌طور که می‌دانید  $(x - x_0)$  جابه‌جایی متحرک است.

### مثال ۲-۱۷

قطاری از حال سکون و با شتاب ثابت  $0.4 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت می‌کند. پس از جابه‌جایی  $1 \text{ km}$ ، سرعت قطار چقدر است؟

حل:

$$v_0 = 0 \quad a = 0.4 \text{ m/s}^2 \quad x - x_0 = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m} \quad v = ?$$

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

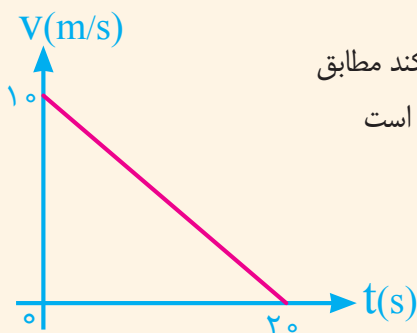
$$v^2 - 0 = 2(0.4 \text{ m/s}^2)(1000 \text{ m}) \Rightarrow v^2 = 800 \text{ (m}^2/\text{s}^2)$$

$$v = 20\sqrt{2} \text{ m/s} \approx 28 \text{ m/s}$$

### تمرین ۲-۱۸

نمودار  $v-t$  متحرکی که بر مسیری مستقیم در امتداد محور  $x$  در حرکت می‌کند مطابق شکل ۱۶-۲ است. اگر در  $t=0$  متحرک از مبدا مکان عبور کرده باشد، مطلوب است

- شتاب متحرک،
- معادله‌ی سرعت- زمان متحرک،
- سرعت متوسط متحرک در  $20$  ثانیه‌ی اول حرکت،
- معادله‌ی مکان- زمان متحرک.



شکل ۱۶-۲

## ۲-۶ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

یک مورد از حرکت بر خط راست با شتاب ثابت، حرکت اجسام در راستای قائم و در نزدیکی سطح زمین است که آن را **سقوط آزاد** می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتوان اثر مقاومت هوا بر حرکت اجسام را نادیده گرفت، شتاب همه‌ی اجسام در حال سقوط آزاد ثابت و در راستای قائم و به طرف پایین است. اندازه‌ی این شتاب را با  $g$  نشان می‌دهیم و مقدار آن تقریباً  $9.8 \text{ m/s}^2$  است، که گاهی برای آسان کردن محاسبه، مقدار  $g$  را با تقریب برابر  $10 \text{ m/s}^2$  می‌گیریم. در این کتاب تنها حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه ( $v_0 = 0$ ) و با نادیده گرفتن مقاومت هوا بررسی می‌شود.

چون جسم در سقوط آزاد در راستای قائم حرکت می‌کند، برای تعیین مکان، سرعت و شتاب



شکل ۱۷-۲

جسم، مانند شکل ۱۷-۲، از یک محور قائم استفاده می‌کنیم و روی آن در یک سو، مثلاً به طرف بالا، را مثبت انتخاب می‌کنیم.

اگر جسمی در لحظه‌ی  $t = 0$  از مبدا مکان ( $y_0 = 0$ ) رها شود، یعنی ( $v_0 = 0$ )، معادله‌های حرکت سقوط آزاد جسم به ترتیب زیر است:

$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = -2gy$$

توجه کنید که چون جهت شتاب در سقوط آزاد به طرف پایین است و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، در معادله‌های حرکت با شتاب ثابت در امتداد محور  $x$  به جای  $-g \rightarrow a$  و  $y \rightarrow x$  جای‌گذاری شده است. دوباره تأکید می‌شود که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه، ( $v_0 = 0$ )، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### مثال ۱۷-۲

گلوله‌ای از طبقه‌ی ششم ساختمانی رها می‌شود. مطلوب است ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) الف) مکان و سرعت گلوله ۱s پس از سقوط آزاد.

ب) اگر گلوله پس از ۳ ثانیه به زمین برخورد کند، فاصله‌ی گلوله را، پیش از رها شدن از سطح زمین، پیدا کنید.

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2)(1\text{s})^2 = -5\text{m} \quad \text{حل: الف)}$$

$$v = -gt = (-10 \text{ m/s}^2)(1\text{s}) = -10 \text{ m/s}$$

توجه کنید چون مبدا مکان را محل رها شدن گلوله و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است،  $y$  و  $v$  هر دو با علامت منفی به دست آمده‌اند.

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(3\text{s})^2 = -45\text{m} \quad \text{ب)}$$

به این ترتیب ارتفاع گلوله پیش از رها شدن از سطح زمین برابر ۴۵m است.

### مثال ۱۸-۲

جسمی را از ارتفاع ۱۲۵ متری بالای سطح زمین رها می‌کنیم. مطلوب است ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) الف) زمان سقوط آزاد جسم،

ب) سرعت متوسط سقوط آزاد جسم،

پ) جابه‌جایی جسم را بین دو لحظه‌ی  $t_1 = 3\text{s}$  و  $t_2 = 4\text{s}$  پیدا کنید.

#### شبیه‌سازی



• حرکت سقوط آزاد

**حل:** الف) با توجه به شکل ۱۸-۲ داریم

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$-125m = -\frac{1}{2} \times (10m/s^2) t^2$$

$$t^2 = 25 \Rightarrow t = 5s$$

توجه کنید زمان همواره مقداری مثبت است.

ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{-125m}{5s} = -25m$$

علامت منفی نشان می‌دهد جهت سرعت متوسط جسم به طرف زمین و بر خلاف راستای مثبت محور  $y$  است.

پ) جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ای  $t_1 = 3s$  برابر است با:

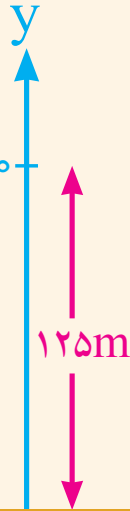
$$y_1 = -\frac{1}{2}(10m/s^2)(3s)^2 = -45m$$

جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ای  $t_2 = 4s$  برابر است با:

$$y_2 = -\frac{1}{2}(10m/s^2)(4s)^2 = -80m$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه‌ای  $t_1$  و  $t_2$  برابر است با:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = (-80m) - (-45m) = -35m$$



سطح زمین

شکل ۱۸-۲

بیش‌تر بدانید



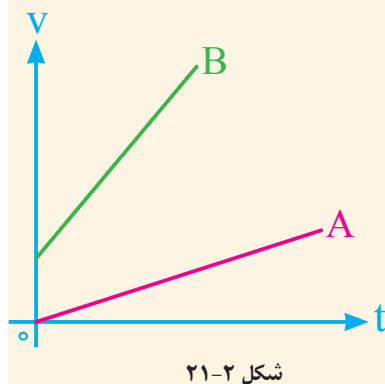
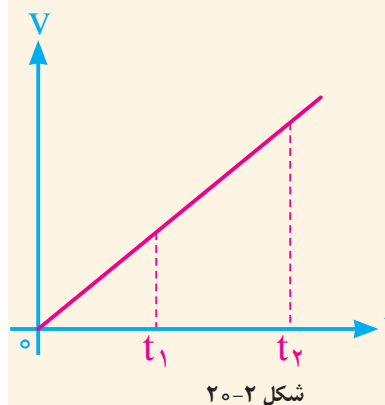
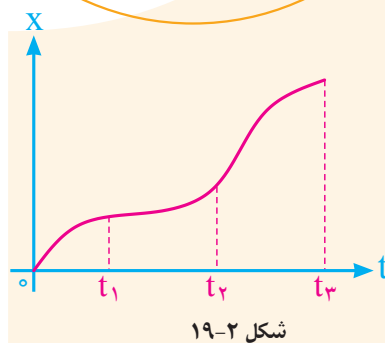
زمان تعلیق

### تمرین ۲-۳

گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از  $10$  ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در لحظه‌ای برخورد به زمین چقدر است؟ ( $g = 10m/s^2$ )

## پرسش‌های مفهومی

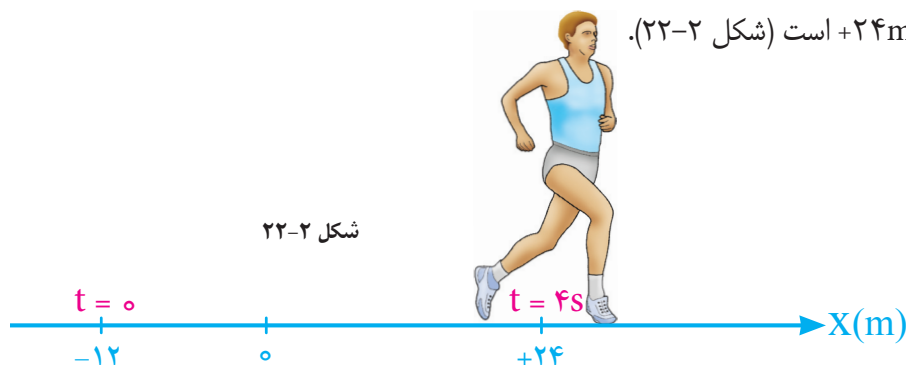
- ۱- در حرکت یکنواخت بر خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه چه رابطه‌ای با سرعت متحرک در هر لحظه دارد؟
- ۲- در هریک از عبارت‌های زیر، واژه‌ای را از داخل پرانتز که جمله را درست بیان می‌کند، انتخاب کنید.
  - الف) در حرکت روی خط راست (راستای، جهت) بردار مکان ثابت می‌ماند و تنها (سوی، امتداد) آن می‌تواند تغییر کند.
  - ب) اگر جسمی روی خط راست حرکت کند، معمولاً مبداء مختصات را روی خطی که جسم بر آن حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند. در این صورت بردارهای مکان و جابه‌جایی بر آن خط (منطبق، عمود) هستند.
- ۳- در نمودار  $X-t$  شکل ۱۹-۲ سرعت متوسط متحرک را که در امتداد محور  $X$  حرکت می‌کند در بازه‌های  $(t_1 \text{ و } t_2)$  و  $(t_1 \text{ و } t_3)$  با هم مقایسه کنید.
- ۴- الف) در حرکت یکنواخت روی خط راست شتاب حرکت چقدر است؟  
 ب) شکل ۲۰-۲ نمودار سرعت- زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه‌ی  $t_1$  و  $t_2$  با هم مقایسه کنید.
- ۵- نمودار  $v-t$  دو متحرک  $A$  و  $B$  در شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



## مسئله‌ها

- ۱- متحرکی روی خط راست در حرکت است. معادله‌ی مکان - زمان این متحرک به صورت  $X = 2t + 3$  است که در آن  $X$  بر حسب متر و  $t$  بر حسب ثانیه است.
  - الف) نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید.
  - ب) مکان متحرک را در دو لحظه‌ی  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 3s$  و همچنین جابه‌جایی آن را بین این دو لحظه به دست آورید.
- ۲- دنده‌ای در لحظه‌ی  $t = 0$  (مبداء زمان) در مکان  $12m$ - و در لحظه‌ی  $t = 4s$  در مکان  $24m$ + است (شکل ۲۲-۲).

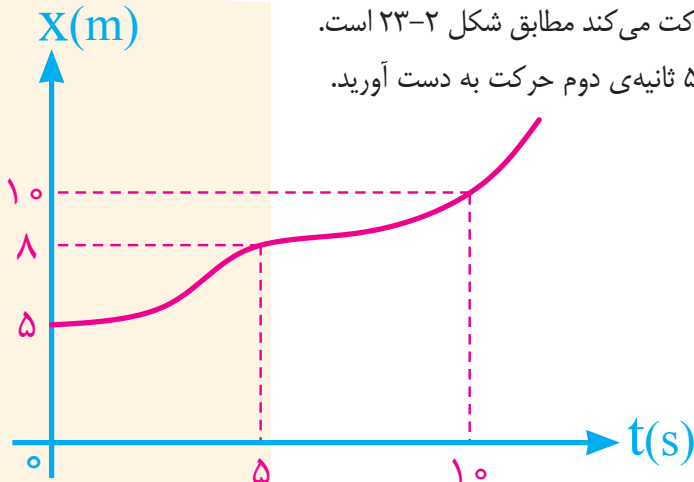
شکل ۲۲-۲



الف) بردارهای مکان دونده را در هر لحظه رسم کنید.

ب) بردار جابه‌جایی دونده را در بازه‌ی زمانی رسم و اندازه‌ی آن را پیدا کنید.

۳- نمودار مکان- زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند مطابق شکل ۲-۲۳ است. سرعت متوسط متحرک را در ۵ ثانیه‌ی اول و همچنین ۵ ثانیه‌ی دوم حرکت به دست آورید.



شکل ۲-۲۳

۴- معادله‌ی مکان - زمان ذره‌ای که در امتداد محور  $X$  حرکت می‌کند به صورت  $x = At^2 - Bt + C$  است، که در آن  $X$  بر حسب متر و  $t$  بر حسب ثانیه است.

الف) ضریب‌های ثابت  $A$ ،  $B$  و  $C$  در SI چه یکایی دارند؟

ب) اگر مقدارهای  $A$ ،  $B$  و  $C$  در SI به ترتیب ۱، ۲ و ۴ باشد، جابه‌جایی و سرعت متوسط ذره در ۴ ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

۵- متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند بین دو لحظه‌ی  $t_1 = 2s$  و  $t_2 = 10s$  به ترتیب در فاصله‌های  $5m$  و  $-5m$  از مبدأ قرار دارد. سرعت متوسط متحرک بین این دو لحظه چقدر است؟

۶- سرعت موتورسواری در لحظه‌ی  $t = 2s$  برابر  $36 km/h$  و در لحظه‌ی

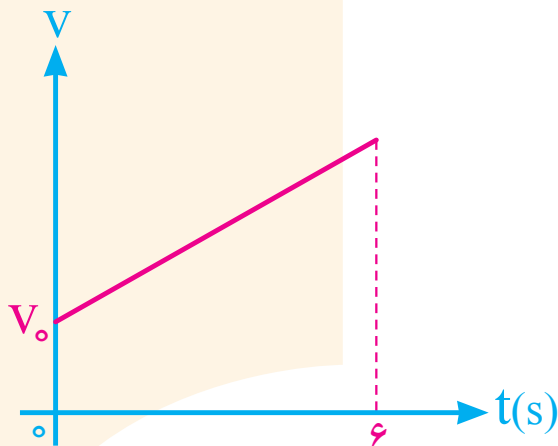
$t = 8s$  برابر  $54 km/h$  است. شتاب متوسط این موتورسوار چقدر است؟

۷- اتومبیلی از حال سکون و با شتاب ثابت در امتداد خط راست شروع به حرکت می‌کند و پس از ۳ ثانیه سرعت آن به  $18 km/h$  می‌رسد.

الف) معادله‌ی سرعت- زمان اتومبیل را بنویسید.

ب) نمودار سرعت- زمان اتومبیل را رسم کرده و سرعت آن را ۱۰ ثانیه پس از شروع حرکت پیدا کنید.

۸- نمودار  $v-t$  متحرکی که بر مسیری مستقیم در حال حرکت است مطابق شکل ۲-۲۴ است. معادله‌ی مکان- زمان این متحرک را پیدا کنید. در  $t = 0$  متحرک از مبدأ مکان عبور کرده است.



شکل ۲-۲۴

۹- گلوله‌ای را از ارتفاع ۸۰ متری سطح زمین در شرایط خلأ رها می‌کنیم. با فرض

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

الف) گلوله پس از چه مدت به زمین می‌رسد؟

ب) سرعت آن در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟

پ) سرعت متوسط گلوله در مدت این حرکت چقدر است؟

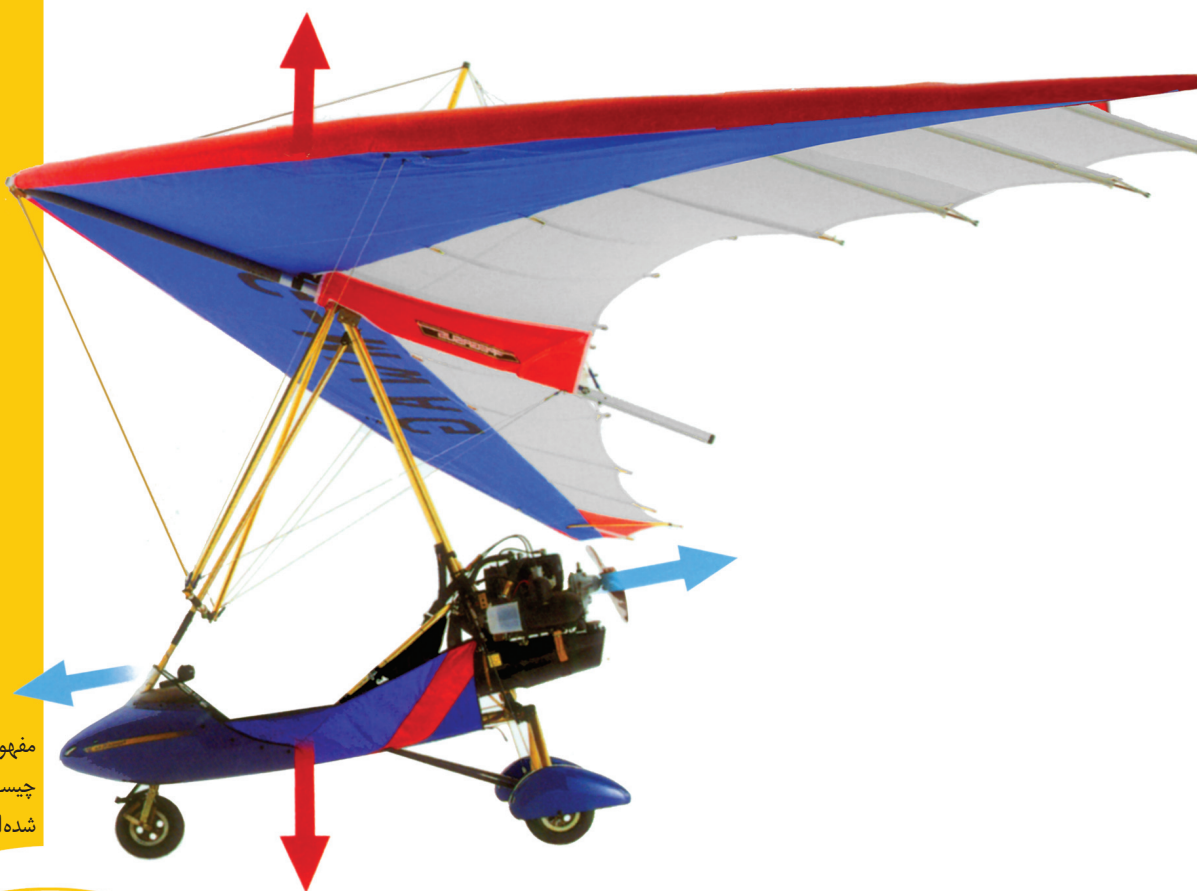
۱۰- جسمی را در شرایط خلأ از یک بلندی رها می‌کنیم و پس از مدتی با سرعت  $30 \text{ m/s}$  به

زمین برخورد می‌کند. ارتفاع بلندی چند متر است؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



# فصل اول

## نیرو و قانون های نیوتون



مفهوم پیکان های رسم شده روی شکل  
چیست و چرا در جهت های مختلف رسم  
شده اند؟

## سیمای فصل

۱-۳ اثرهای نیرو

۲-۳ قانون‌های حرکت نیوتون

۳-۳ قانون‌های نیرو

۴-۳ اندازه حرکت (تکانه)

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



جرم این هواپیمای نظامی درحین پرواز  
می تواند تا ۲۶۵ تن باشد!

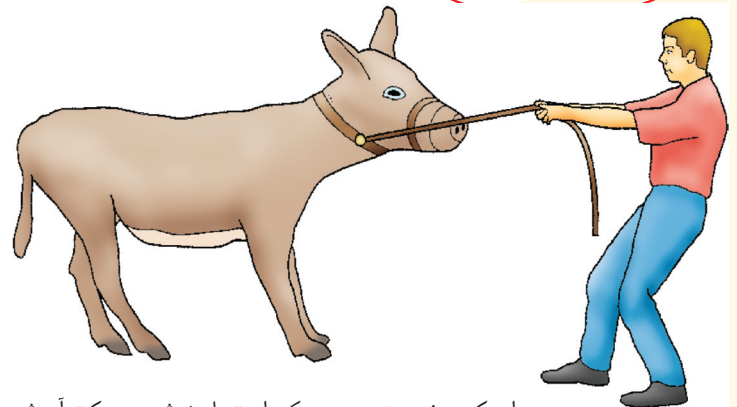
## نیرو و قانون های نیوتون

در فصل دوم درباره ی حرکت اجسام به کمک کمیت هایی مانند مکان، جابه جایی، سرعت متوسط، سرعت و شتاب تا حدود زیادی صحبت کردیم ولی درباره ی این که چگونه جسمی به حرکت در می آید یا نوع حرکت آن چگونه تغییر می کند، بحثی به میان نیامد. در این فصل به بحث درباره ی علل حرکت خواهیم پرداخت و برای این منظور مفهوم های جرم و نیرو را معرفی می کنیم. نیوتون نخستین دانشمندی بود که پس از گالیله، به تفصیل و با روش علمی به بررسی حرکت اجسام و علل آن پرداخت. قانون های حرکت که بخش اساسی و مهم این فصل را تشکیل می دهند به نام قانون های نیوتون نام گذاری شده اند.

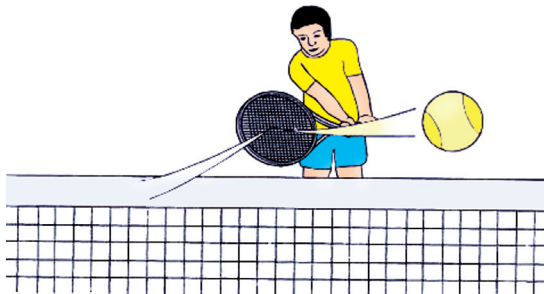
### ۱-۳ اثرهای نیرو

نیرو، یکی از مفهوم های مهم برای بررسی علل حرکت جسم است. در کتاب های علوم دوره ی ابتدایی و راهنمایی تا حدودی با این مفهوم آشنا شده اید. برای شناخت و درک بهتر مفهوم نیرو به معرفی اثرهای نیرو بر یک جسم می پردازیم. شکل ۱-۳ اثرهای مختلف نیرو را بر یک جسم نشان می دهد. به عبارت «ممکن است» در هر جمله توجه کنید، زیرا اعمال نیرو به یک جسم «ممکن است» سبب تغییر مورد نظر شود.

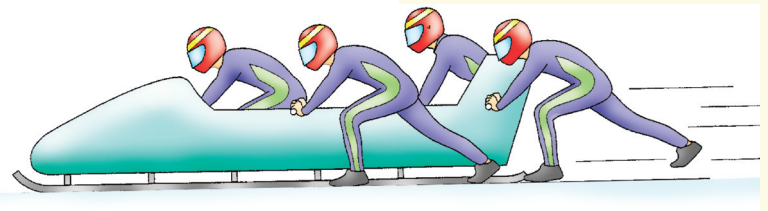
شکل ۱-۳ اثرهای نیرو به شکل‌های بسیار مختلفی همچون هل دادن، کشیدن، پیچاندن و فشار آوردن وجود دارد.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث شروع حرکت آن شود.



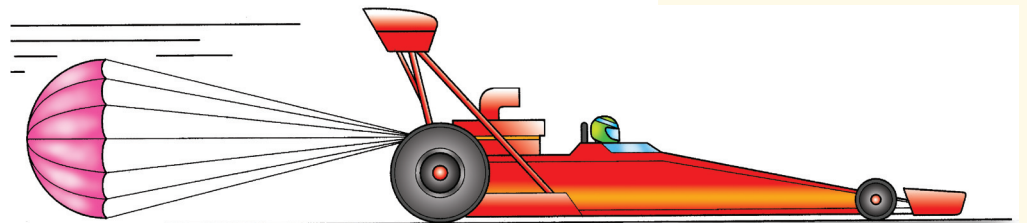
وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث تغییر جهت آن شود.



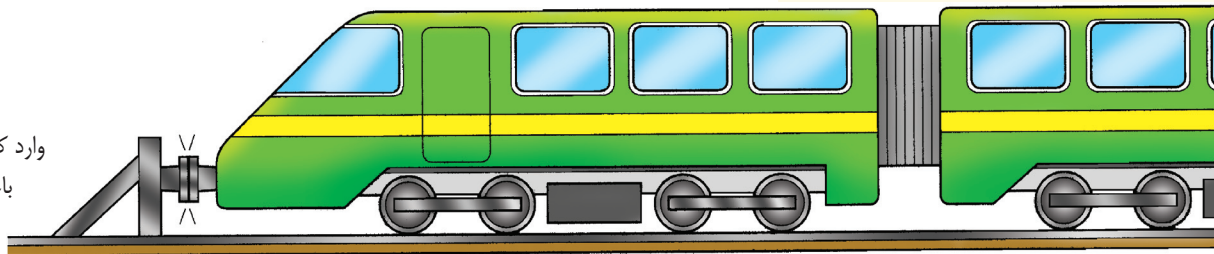
وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث سریع‌تر شدن حرکت آن شود.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث تغییر شکل آن شود.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث کند شدن حرکت آن شود.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث توقف حرکت آن شود.

### ..... فعالیت ۱-۳

سه ورزش متفاوت را انتخاب کنید. برای هر ورزش وضعیتی را توصیف کنید که نیرو وارد شده است و توضیح دهید که این نیرو چه کرده است.

### ..... پرسش ۱-۳

با توجه به شکل ۱-۳، پنج حالت متفاوت را که «ممکن است» با وارد کردن نیرو به یک جسم رخ دهد، نام ببرید.

### ویژگی های نیرو

نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. برای مثال اگر کتابی را که در اختیار دارید روی میز قرار دهید و از بالا به آن نیرو وارد کنید، هر اندازه هم که اندازه ی نیرو را افزایش دهید کتاب حرکتی نخواهد کرد (شکل ۲-۳ الف) در صورتی که اگر جهت نیرو را تغییر دهید یا آن را به طور مایل یا افقی به کتاب وارد کنید، بسته به بزرگی نیرو، ممکن است کتاب حرکت کند (شکل ۲-۳ ب). این تجربه ی ساده نشان دهنده ی برداری بودن نیروست.

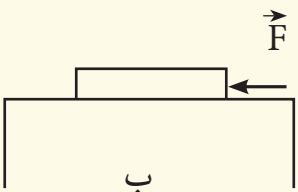
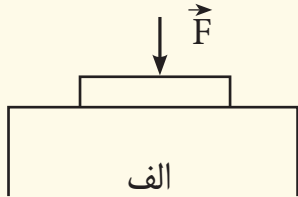
بزرگی یا اندازه ی نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می گیریم. شکل ۳-۳ یک نیروسنج را نشان می دهد که بر حسب یکای نیرو، یعنی نیوتون، درجه بندی شده است. نیوتون را با نماد  $N$  نشان می دهند. برای آن که تصویری از اندازه ی یک نیرو به دست آورید به مثال های شکل ۳-۴ توجه کنید.

### ۲-۳ قانون های حرکت نیوتون

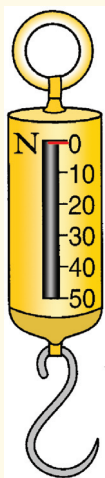
بررسی حرکت اجسام و یافتن علل آن از قرن ها پیش ذهن بشر را به خود مشغول کرده بود به طوری که توضیح ارسطویی حرکت که با بسیاری از مشاهدات مبتنی بر حس سازگار بود برای مدت ۲۰ قرن مورد پذیرش عام بود.

گالیله با انجام آزمایش و تعمیم ذهنی نتیجه های آزمایش نخستین کسی بود که در برداشت ارسطو از علل حرکت تردید کرد و بی نیازی حرکت یکنواخت اجسام به نیرو را ارائه داد.

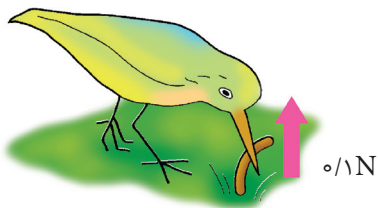
نیوتون، دانشمند انگلیسی پس از بررسی های دقیق درباره ی حرکت اجسام و با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود سه قانون درباره ی حرکت اجسام ارائه کرد.



شکل ۲-۳ نیرو کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.



شکل ۳-۳ درجه بندی روی نیروسنج بزرگی نیرو را نشان می دهد.

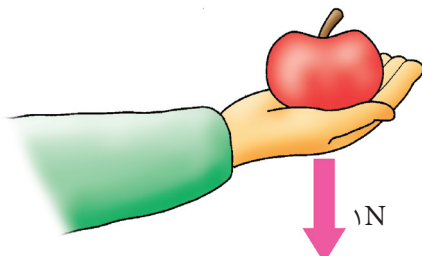


یک پرندۀ برای برداشتن یک کرم از روی زمین، نیرویی حدود  $0.1\text{N}$  لازم دارد

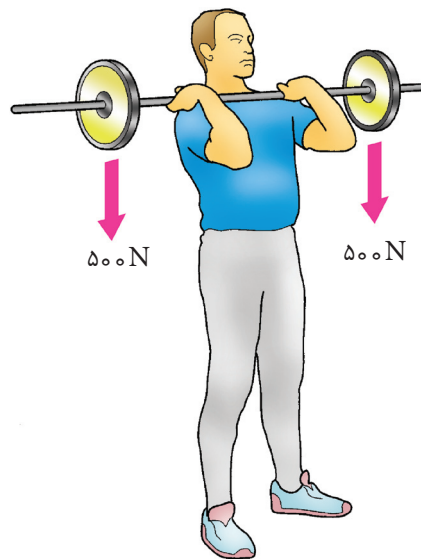
شکل ۳-۴ همه ما تقریباً تصویری از اندازه‌ی کمیت‌هایی مانند طول، جرم و زمان داریم. این شکل‌ها به ما کمک می‌کند تا تصویری از بزرگی یک نیرو نیز به دست آوریم.



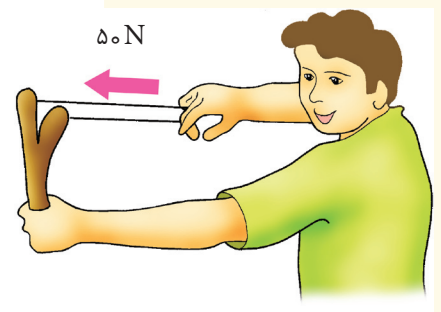
اسکی روی سرازیری نیاز خیلی کمی به نیرو دارد، اما روی سطح زمین ممکن است به نیرویی حدود  $400\text{N}$  نیاز باشد.



وزن یک سیب با اندازه متوسط  $1\text{N}$  است. اگر شما یک سیب با اندازه متوسط را در دست خود نگه دارید، نیرویی برابر  $1\text{N}$  به طرف پایین روی دست خود احساس می‌کنید.



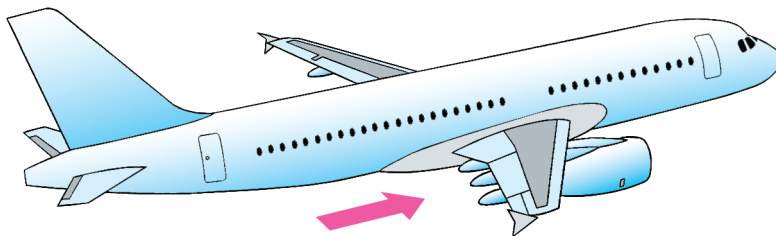
یک ورزشکار در حین وزنه برداری، وزنه‌ای برابر با  $1000\text{N}$  را بالا می‌برد.



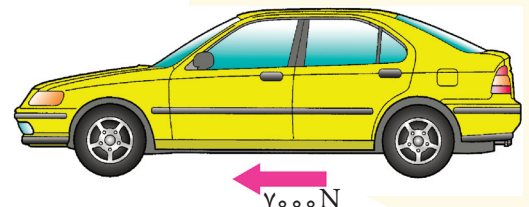
برای کشیدن کش یک تیرکمان به نیرویی حدود  $50\text{N}$  نیاز دارید.



وقتی دری را هل می‌دهید تا باز شود، نیرویی حدود  $10\text{N}$  وارد می‌کنید.



موتور یک هواپیما ممکن است نیروی پیش‌رانی حدود  $800000\text{N}$  تولید کند.



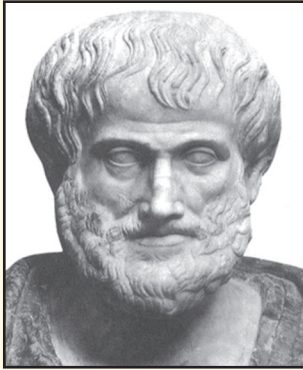
موتور یک ماشین، نیروی پیش‌رانی حدود  $7000\text{N}$  باید تولید کند.



## ..... قانون اول نیوتون

قانون اول نیوتون به صورت زیر بیان می شود:

اگر هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، آن جسم به حرکت یکنواخت خود در راستای خط مستقیم ادامه می دهد. همچنین اگر جسم در ابتدا ساکن باشد، در حال سکون باقی می ماند.



ارسطو (۳۲۲ ق.م - ۳۸۴ ق.م) فیلسوف، دانشمند و معلم یونانی پسر یکی از پزشکان پادشاه مقدونیه بود. او در ۱۷ سالگی وارد آکادمی افلاطون شد و در آنجا، تا هنگام درگذشت افلاطون، ۲۰ سال به کار و تحصیل پرداخت. سپس مربی اسکندر شد. هدف ارسطو سامان بخشی معلومات زمان خود بود. او مشاهده های مهمی انجام داد، نمونه هایی جمع آوری کرد و تقریباً تمام دانش زمان خود را گردآوری، خلاصه و طبقه بندی کرد. او معتقد بود هر جسم حتی برای ادامه ی حرکت یکنواخت، نیاز به نیرو دارد.

هرچند در آزمایشگاه نمی توان شرایطی را فراهم کرد که هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، اما امروزه بشر این قانون را در فرستادن سفینه های فضایی به خارج از زمین تا حدودی آزموده است. هرگاه سفینه ای به اندازه ی کافی از زمین دور شود، می تواند با موتور خاموش و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه دهد.

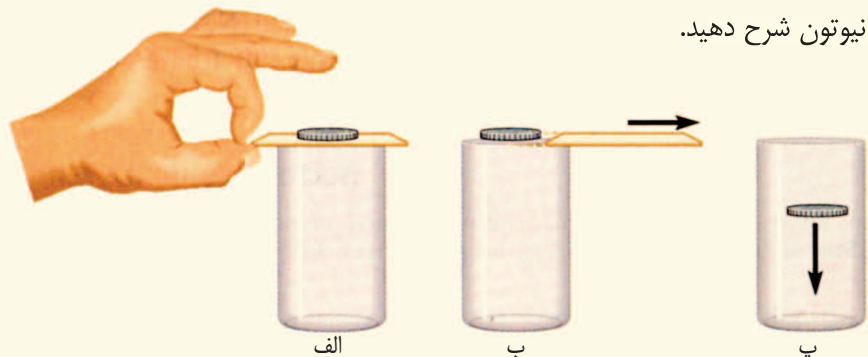
گاهی در مورد قانون اول نیوتون تعبیری به صورت «اگر بر جسمی هیچ نیرویی وارد نشود، جسم مایل است وضعیت حرکت خود را حفظ کند.» نیز به کار می رود. به عبارت دیگر هر جسم، چه در حال سکون باشد و چه در حال حرکت یکنواخت روی خط راست، در صورتی که هیچ نیرویی به آن وارد نشود در همان وضعیت حرکت می ماند. این خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را در نبود نیرو حفظ کنند، **لختی** نام دارد. از این رو قانون اول نیوتون، **قانون لختی** نیز نامیده می شود.

## ..... پرسش ۳-۲

وقتی در ماشین ساکنی نشسته ایم و ماشین ناگهان شروع به حرکت می کند، به عقب هل داده می شویم. همچنین اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشیم، هنگام توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می شویم. این دو وضعیت را به کمک قانون اول نیوتون بررسی کنید.

## ..... فعالیت ۳-۲

کارتی را روی لیوانی قرار دهید. یک سکه را روی کارت، وسط لیوان بگذارید و با ضربه ی انگشت آن را به سرعت به حرکت در آورید (شکل ۳-۵). نتیجه ی آزمایش را به کمک قانون اول نیوتون شرح دهید.



شکل ۳-۵ ضربه ی سریع انگشت به کارت، کارت را از زیر سکه پرتاب می کند و سکه درون لیوان می افتد.

### بیش تر بدانید



● آزمایش فکری گالیله و قانون اول نیوتون

### شبیه سازی

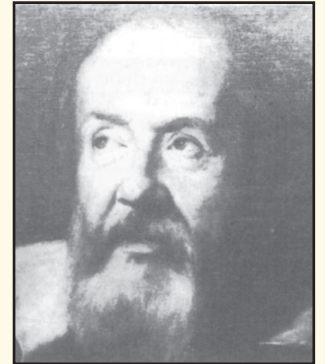


● قانون اول نیوتون

## ..... قانون دوم نیوتون

بنا بر قانون اول، اگر بر جسمی هیچ نیرویی وارد نشود، جسم یا ساکن می ماند یا حرکت یکنواخت بر خط راست خواهد داشت. نتیجه‌ی آشکار قانون اول این است که اگر بر جسم نیرو وارد شود، جسم ساکن نمی ماند و حرکت یکنواخت بر خط راست نیز نخواهد داشت. در این صورت وارد کردن نیرو بر جسم به آن شتاب می دهد. قانون دوم نیوتون رابطه‌ی شتاب جسم را با نیرویی که به آن وارد می شود، بیان می کند.

**قانون دوم نیوتون** به صورت زیر بیان می شود:



گالیلهو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴) در دانشگاه پیزا به تحصیل پزشکی پرداخت و سپس به ریاضی تغییر رشته داد. او ابتدا به حرکت علاقمند شد و سپس با معاصران خود، که به نظریه‌های ارسطو در مورد سقوط آزاد معتقد بودند، اختلاف نظر پیدا کرد. سپس برای تدریس راهی دانشگاه پادوا شد و از مبلغان نظریه‌ی جدید کوپرنیکی منظومه شمسی شد. گالیله اولین کسی بود که تلسکوپ دست ساز خود را به طرف آسمان شب نشانه رفت و کوه‌هایی را روی ماه و قمرهایی را در اطراف مشتری کشف کرد. با گسترش اندیشه‌های گالیله، دیری نگذشت که کلیسا با او درگیر شد و به او هشدار دادند که تدریس نکند و دیدگاه‌های کوپرنیکی را دنبال نکند. گالیله نزدیک به ۱۵ سال دیدگاه‌های خود را علنی نکرد، اما پس از انتشار آن‌ها، توسط کلیسا محاکمه و گناهکار شناخته شد و مجبور به اعتراف گردید تا کشف‌های خود را انکار کند. در این زمان، او که پیرمردی با تن و روانی درهم شکسته بود، محکوم شد برای همیشه در خانه‌ی خود تحت نظر باشد.

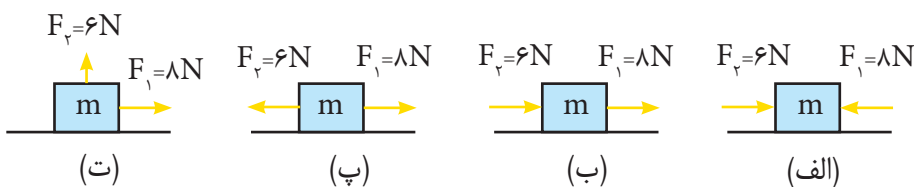
شتاب جسمی به جرم  $m$  که نیروی  $\vec{F}$  بر آن وارد می شود، هم جهت و متناسب با نیروی وارد بر آن است و با جرم جسم نسبت عکس دارد. این بیان را می توان به صورت زیر نوشت

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

رابطه‌ی بالا را به صورت  $\vec{F} = m\vec{a}$  نیز می توان نوشت. در این رابطه،  $\vec{F}$  برایندهای نیروهایی است که به جسم به جرم  $m$  وارد می شود و به آن شتاب  $\vec{a}$  می دهد. یکای نیرو، نیوتون (N) را نیز می توان از این رابطه تعریف کرد. اگر در رابطه‌ی  $\vec{F} = m\vec{a}$ ، جرم بر حسب کیلوگرم و شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه قرار داده شود، نیرو بر حسب  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  خواهد شد که آن را نیوتون می نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم  $1 \text{ kg}$  وارد شود، به آن شتابی برابر  $1 \text{ m/s}^2$  بدهد.»

## ..... مثال ۳-۱

نیروهای وارد شده به جسمی به جرم  $m = 2 \text{ kg}$  در چهار وضعیت متفاوت مطابق شکل ۳-۶ است. بزرگی شتاب جسم را در هر حالت به دست آورید. توجه کنید که نیروهای  $F_1$  و  $F_2$  در راستای افق (محور x) به جسم وارد شده اند و تنها در شکل ۳-۶ ت نیروی  $F_3$  در راستای قائم (محور y) است.



شکل ۳-۶

**حل:** ابتدا برایندهای نیروهای وارد شده به جسم را در هر حالت پیدا می کنیم و سپس با استفاده از قانون دوم نیوتون شتاب جسم را به دست می آوریم. (سمت راست را جهت مثبت محور x فرض می کنیم.)

## شبیه سازی



● قانون دوم نیوتون

در وضعیت (الف) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = -F_1 + F_2 = (-8N) + (6N) = -2N$$

$$F = ma \Rightarrow (-2N) = (2kg) a \Rightarrow a = -1 m/s^2$$

علامت منفی نشان می دهد جسم شتابی به بزرگی  $1 m/s^2$  و در جهت مخالف محور  $x$  به دست می آورد.

در وضعیت (ب) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = F_1 + F_2 = (8N) + (6N) = 14N$$

$$F = ma \Rightarrow 14N = (2kg) a \Rightarrow a = 7 m/s^2$$

در وضعیت (پ) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = F_1 - F_2 = (8N) + (-6N) = 2N$$

$$F = ma \Rightarrow 2N = (2kg) a \Rightarrow a = 1 m/s^2$$

در وضعیت (ت) نیروهای  $F_1$  و  $F_2$  بر یک دیگر عمودند و با توجه به چگونگی به دست آوردن برابند بردارهای عمود بر هم از فصل اول داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(8N)^2 + (6N)^2} = \sqrt{100N^2} = 10N$$

$$F = ma \Rightarrow 10N = (2kg) a \Rightarrow a = 5 m/s^2$$

### تمرین ۳-۱

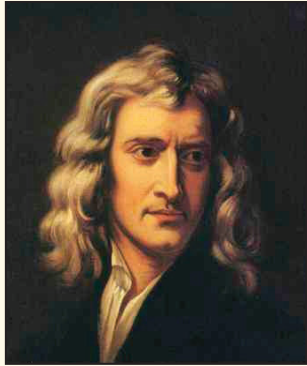
بزرگی برابند نیروهای وارد بر جسمی برابر  $10N$  است. اگر جسم شتابی برابر  $2 m/s^2$  گرفته باشد، جرم آن چقدر است؟

### قانون سوم نیوتون

قانون اول نیوتون، وضعیت جسم را در نبود نیرو و قانون دوم، وضعیت آن را وقتی تحت تأثیر نیرو است، توصیف می کند. اما این قانون ها، مشخص نمی کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می شود. همان طور که تجربه های روزانه نشان می دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می کند. بازیکن فوتبال، با پا به توپ ضربه می زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می کند. شخصی که جسمی را روی زمین می کشد، به آن نیرو وارد می کند. نیوتون با بیان قانون سوم، مشخص کرد که نیروی وارد بر یک جسم از طرف جسم دیگر است و افزون بر آن معلوم کرد که وارد کردن نیرو، یک جانبه نیست و همواره عملی دو جانبه است.

قانون سوم نیوتون به صورت زیر بیان می شود:

اگر جسم (۱) بر جسم (۲) نیرو وارد کند، جسم (۲) نیز متقابلاً نیرویی بر جسم (۱) وارد می کند. اگر نیرویی را که جسم (۱) بر جسم (۲) وارد می کند،  $\vec{F}$  و نیرویی را که جسم (۲) بر جسم (۱) وارد می کند،  $\vec{F}'$  بنامیم، این دو نیرو هم اندازه، هم راستا و در دو سوی مخالف یک دیگرند. یعنی

$$\vec{F} = -\vec{F}'$$


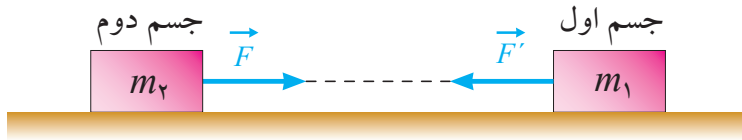
ایزاک نیوتون (۱۶۴۲-۱۷۲۷) دانشمند انگلیسی در همان سالی متولد شد که گالیله درگذشت. پدرش چند ماه پیش از تولد او درگذشته بود و او تحت سرپرستی مادر و مادر بزرگ خود رشد کرد. در کودکی، هیچ نشانه ای از تیزهوشی در او نبود و پس از ۵ سال تحصیل در دانشگاه کمبریج بدون هیچ ویژگی خاصی فارغ التحصیل شد. با گسترش طاعون در سراسر انگلستان به مزرعه ای مادرش بازگشت و در مزرعه (۲۳-۲۴ سالگی) پایه های کاری را گذاشت که او را جوادان ساخت. قانون گرانش عمومی را تدوین کرد، حسابان را (که ابزار ریاضی بسیار مهمی است) ابداع کرد، کارهای گالیله را توسعه داد و سه قانون بنیادی حرکت را تدوین کرد، نظریه ای در مورد ماهیت نور تنظیم کرد، و به کمک منشور نشان داد که نور سفید از رنگ های رنگین کمان تشکیل شده است. نیوتون در ۲۸ سالگی استاد کرسی ریاضیات لوکاس شد و در ۱۶۷۲ به عضویت انجمن سلطنتی انتخاب شد. در آنجا اولین تلسکوپ بازتابی جهان را به نمایش گذاشت و در ۴۳ سالگی کتاب ارزشمند اصول ریاضی فلسفه ی طبیعی را پس از نزدیک به ۲ سال کار تالیف کرد.

### آزمایشگاه مجازی



نیرو در یک بعد

اگر یکی از این دو نیرو را کنش (عمل) بنامیم، نیروی دیگر واکنش (عکس‌العمل) نامیده می‌شود (شکل ۳-۷). لازم است توجه کنید که تفاوتی ندارد که کدام نیرو را کنش و کدام یک را واکنش بنامیم. مفهوم اساسی قانون سوم نیوتون این است که نیروی تک در طبیعت وجود ندارد.

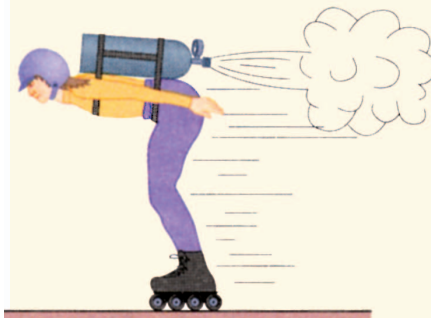


شکل ۳-۷ نیرویی که هر جسم به جسم دیگر وارد می‌کند. این نیروها همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوی مخالف یک‌دیگرند.

در اینجا می‌توانیم با توجه به اثرها و ویژگی‌های نیرو که در ابتدای این فصل با آن آشنا شدیم این موضوع را نیز اضافه کنیم که **نیرو اثر متقابل دو جسم بر یک‌دیگر یا بر هم کنش آن‌ها با یک‌دیگر است.**

### پرسش ۳-۳

شکل ۳-۸ شخصی را نشان می‌دهد که با پوشیدن کفش‌های چرخ‌دار (اسکیت)، کپسولی دارای گاز کربن دی‌اکسید را به پشت خود بسته و شیر آن را باز کرده است. با استفاده از قانون‌های نیوتون توضیح دهید چرا شخص حرکت می‌کند.



شکل ۳-۸

#### شبیه‌سازی



● قانون سوم نیوتون

#### بیش‌تر بدانید



- کنش و واکنش بر جرم‌های متفاوت
- خلاصه‌ی سه قانون نیوتون

#### آزمایشگاه مجازی



● نیروی گرانش

## ۳-۳ قانون‌های نیرو

همان‌طور که دیدیم بنا بر قانون دوم نیوتون، شتاب جسمی به جرم  $m$  متناسب با برابری نیروهای وارد بر آن از طرف تمام اجسام دیگر است. در نتیجه برای به دست آوردن شتاب یک جسم باید چگونگی بر هم کنش اجسام دیگر را روی آن معین کرد. قانون‌های نیرو رابطه‌ای را که بنا بر آن بر هم کنش صورت می‌گیرد، معین می‌کنند.

**قانون گرانش نیوتون:** کشف قانون گرانش نیوتون، بعد از قانون‌های حرکت، یکی دیگر از کارهای بزرگ نیوتون است. به کمک این قانون می‌توان وزن اجسام، قانون‌های مربوط به حرکت سیاره‌ها به دور خورشید، حرکت ماهواره‌ها به دور زمین و پدیده‌هایی نظیر جزر و مد را توجیه کرد. دو جسم به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  مطابق شکل ۳-۷ در نظر بگیرد. در صورتی که فاصله‌ی مرکزهای این دو جسم از یک‌دیگر برابر  $r$  و ابعاد دو جسم در مقایسه با  $r$  خیلی کوچک باشد، در این صورت آن‌ها را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم. با این نگاه می‌توان خورشید و زمین، یا زمین و ماه را نسبت به یک‌دیگر ذره در نظر گرفت.

بنا بر نظریه‌ی گرانش نیوتون، هر دو ذره به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  به یک‌دیگر نیروی ربایشی وارد می‌کنند. این نیرو در راستای خطی است که آن دو ذره را به هم وصل می‌کند. اندازه‌ی نیرویی که به یکی از دو جرم وارد می‌شود، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

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

در این رابطه  $G$  ثابت جهانی گرانش نام دارد و مقدار آن در SI برابر است با

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

بیش تر بدانید



- ترازوی کاوندیش
- نخستین برآورد محیط زمین
- وزن و بی وزنی

### مثال ۳-۲

جرم زمین و خورشید به ترتیب برابر  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$  و  $2 \times 10^{30} \text{ kg}$  است. اگر فاصله ی متوسط زمین تا خورشید  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$  باشد، نیروی گرانشی وارد از خورشید بر زمین چقدر است؟  
**حل:** چون فاصله ی زمین از خورشید نسبت به شعاع های زمین و خورشید بسیار بزرگ تر است، زمین و خورشید را می توان مانند دو ذره در نظر گرفت (شکل ۳-۹). بنا بر قانون گرانش نیوتون داریم

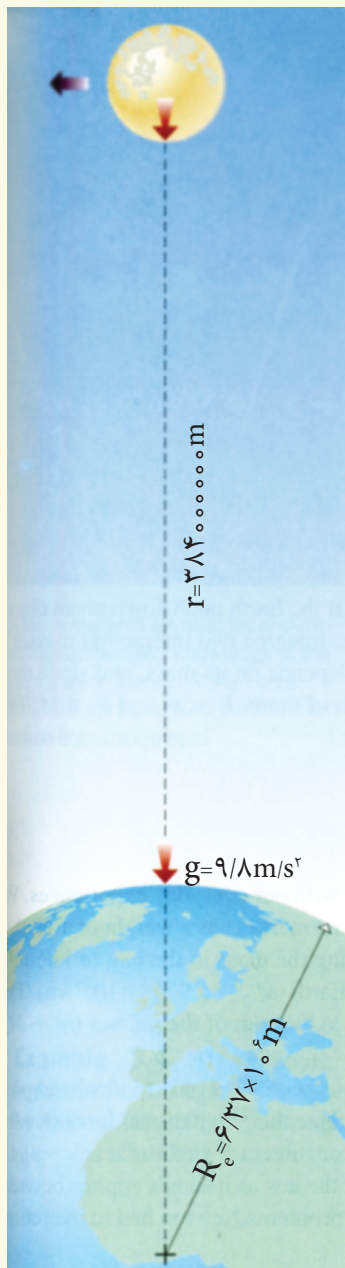
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2) \frac{(6 \times 10^{24} \text{ kg}) \times (2 \times 10^{30} \text{ kg})}{(1.5 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 3.55 \times 10^{22} \text{ N}$$

**وزن:** نمونه ی بارز نیروی گرانش، وزن اجسام روی زمین است که همان نیروی گرانش کره ی زمین است که بر آنها وارد می شود.

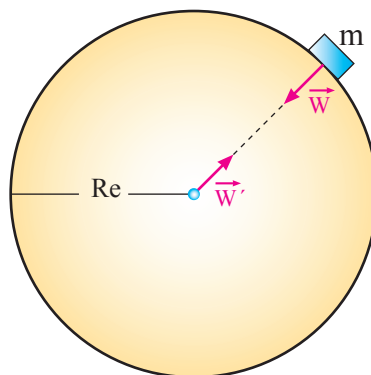
اگر شعاع کره ی زمین را با  $R_e$  و جرم آن را با  $M_e$  نشان دهیم، نیروی گرانشی ای که بر جسمی به جرم  $m$  در روی کره ی زمین (و اطراف زمین) وارد می شود از رابطه ی زیر به دست می آید

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

این نیرو که در راستای شعاع کره ی زمین و در نتیجه عمود بر سطح آن است همان نیروی وزن جسمی به جرم  $m$  است که با حرف  $W$  نشان داده می شود (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۹



شکل ۳-۱۰ وزن جسم  $W$ ، نیروی گرانشی وارد از طرف زمین بر جسم است.  $W'$  واکنش این نیرو است که از طرف جسم بر زمین وارد می شود.



از آنجا که هنگام سقوط آزاد جسم در نزدیکی سطح زمین شتاب جسم  $a=g$  است، نیروی وارد بر جسم هنگام سقوط آزاد  $F=mg$  است. از طرفی هنگام سقوط آزاد جسم، تنها نیروی وزن بر جسم وارد می‌شود. یعنی

$$F=W=mg$$

مقایسه‌ی رابطه‌های  $W=mg$  و  $W=G \frac{M_e m}{R_e^2}$  نشان می‌دهد که

$$g=G \frac{M_e}{R_e^2}$$

یعنی شتاب جاذبه‌ی گرانشی زمین در نزدیکی سطح زمین به جرم اجسامی که به طرف زمین سقوط می‌کنند، بستگی ندارد.

### ..... مثال ۳-۳

شتاب گرانش را در سطح ماه به دست آورید و آن را با شتاب گرانش در سطح زمین

$(g_e=9.8 \text{ m/s}^2)$  مقایسه کنید. جرم ماه  $M_m=7.4 \times 10^{22} \text{ kg}$  و شعاع آن  $R_m=1.74 \times 10^6 \text{ m}$  است.

**حل:** برای به دست آوردن شتاب گرانش در سطح ماه داریم

$$g_m=G \frac{M_m}{R_m^2}$$

$$=(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) \frac{(7.4 \times 10^{22} \text{ kg})}{(1.74 \times 10^6 \text{ m})^2} \approx 1.6 \text{ m/s}^2$$

همان‌طور که دیده می‌شود بزرگی شتاب گرانش در سطح ماه تقریباً  $\frac{1}{6}$  بزرگی شتاب

گرانش در سطح زمین است. یعنی وزن یک جسم در سطح ماه ۶ برابر کوچک‌تر از وزن آن در سطح زمین است.

**نیروی عمودی سطح:** وقتی روی تشک ایستاده‌اید، با این که کره‌ی زمین شما را رو به پایین می‌کشد، ولی سرجای خود ساکن می‌مانید. دلیلش این است که تشک بر اثر وزن شما به سمت پایین تغییر شکل می‌یابد ولی شما را به سمت بالا هل می‌دهد. به همین ترتیب، اگر روی کف اتاق بایستید، کف تغییر شکل می‌دهد (هرچند به میزان بسیار ناچیز) و به شما نیروی رو به بالایی وارد می‌کند.

نیروی وارد از تشک یا کف اتاق روی شما **نیروی عمودی سطح**  $\vec{N}$  است. شکل ۳-۱۱ الف قطعه‌ای به جرم  $m$  را نشان می‌دهد که سطح میزی را به پایین می‌فشارد و بر اثر نیروی گرانشی  $\vec{W}$  وارد بر قطعه، آن سطح را اندکی تغییر شکل می‌دهد. (این تغییر شکل ممکن است بسیار کم و مشاهده‌ی آن نیاز به ابزارهای خاصی داشته باشد.) میز با نیروی عمودی  $\vec{N}$ ، نیرویی رو به بالا بر قطعه وارد می‌کند. شکل ۳-۱۱ ب نیروهای وارد بر قطعه را نشان می‌دهد. چون قطعه روی میز

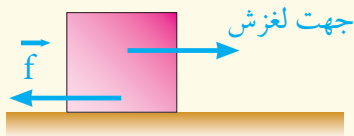
ساکن است باید  $\vec{N} + \vec{W} = 0$  یا  $\vec{N} = -\vec{W}$  باشد.

هشدار: جرم و وزن را باهم اشتباه نگیرید. در زندگی روزمره اغلب یکاهای SI برای جرم و وزن را نابجا به کار می‌برند. عبارت‌های نادرستی مانند «این جعبه ۴ kg وزن دارد.» تقریباً جهانی‌اند. منظور از بیان این عبارت آن است که جرم جعبه که احتمالاً به طور غیر مستقیم با وزن کردن آن تعیین شده است ۴ kg است. مراقب باشید که از این استفاده‌ی سهل انگارانه در کارهای خود اجتناب کنید! در یکاهای SI وزن را (که یک نیرو است) برحسب نیوتون اندازه می‌گیرند درحالی که جرم بر حسب کیلوگرم اندازه گیری می‌شود.

### بیش تر بدانید



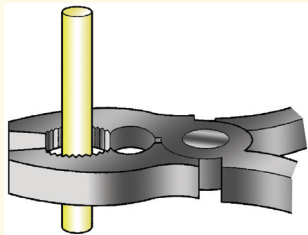
- نظریه‌ی گرانش اینشتین به زبان ساده
- سیاهچاله‌ها



شکل ۱۳-۳ نیروی اصطکاک  $f$  با لغزش جسم روی سطح مخالفت می کند.

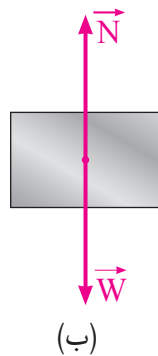


این کوهنورد به اصطکاک زیادی بین دست هایش و طناب نیازمند است. در غیر این صورت سر می خورد.

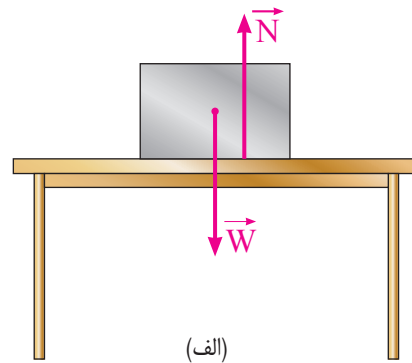


اصطکاک بین دهنه های انبردست و میله باعث می شود که میله بدون لغزش نگه داشته شود.

شکل ۱۴-۳



(ب)



(الف)

شکل ۱۱-۳ الف- بر قطعه ای که روی میزی ساکن است افزون بر نیروی وزن  $\vec{W}$ ،

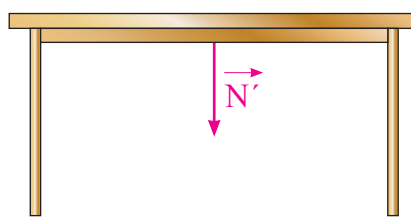
نیروی عمودی سطح  $\vec{N}$  از طرف میز به آن وارد می شود.

ب- توجه کنید نیروهای  $\vec{N}$  و  $\vec{W}$  کنش و واکنش یکدیگر نیستند.

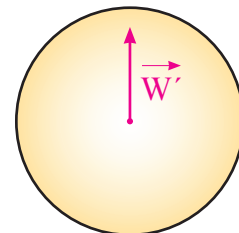
### مثال ۳-۴

بنا بر قانون سوم نیوتون، نیروهای عکس العمل (واکنش)  $\vec{W}$  و  $\vec{N}$  را که بر قطعه ای شکل ۱۱-۳ وارد شده است پیدا کنید.

**پاسخ:** نیروی واکنش وزن  $\vec{W}$  به مرکز زمین (شکل ۱۲-۳ الف) و نیروی واکنش  $\vec{N}$  به سطح میز (شکل ۱۱-۳ ب) وارد می شود. توجه کنید که نیروی کنش  $\vec{N}$  به قطعه و نیروی واکنش آن  $\vec{N}'$  به میز وارد شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲-۳

**نیروی اصطکاک:** اگر جسمی را روی سطحی بلغزانیم یا تلاش کنیم که بلغزانیم، حرکت با مقاومت روبه رو خواهد شد. همچنین اگر اتومبیلی را که در مسیر مستقیم در حال حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون گرفتن ترمز پس از طی مسافتی متوقف می شود.

مقاومت در برابر حرکت ناشی از **نیروی اصطکاک**  $f$  یا به طور ساده **اصطکاک** است. هرگاه جسم را بکشیم یا هل دهیم این نیرو در امتداد سطح و مخالف با جهت حرکت جسم است (شکل ۱۳-۳).



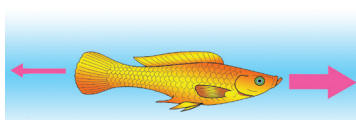
**اصطکاک می تواند سودمند باشد.** در بعضی موارد، نیروی اصطکاک می تواند خیلی سودمند باشد. برای افزایش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح ها ناهموار و خشک باشند، به طوری که آن ها به یک دیگر محکم گیر کنند (شکل ۳-۱۴).

**اصطکاک می تواند زیان بار باشد.** در بعضی موارد مایل هستیم که اصطکاک تا حد ممکن کوچک باشد (شکل ۳-۱۵). بنابراین زیاد بودن اصطکاک ممکن است اختلال ایجاد کند.

برای کاهش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح ها را تا حد ممکن هموار و یک ماده ی روان کننده مانند روغن اضافه کنیم (شکل ۳-۱۶). اصطکاک بین دو سطح باعث تولید گرما می شود و این موضوع سبب می شود که یکی از دو سطح یا هر دو آن ها ساییده شوند. یک ماده ی روان کننده به کاهش گرما و ساییدگی کمک می کند. این موضوع، دلیلی بر اهمیت روغن کاری ماشین آلات است.



این اسکی باز می خواهد اصطکاک بین چوب های اسکی او و برف، تا حد ممکن کوچک باشد تا بتواند سریع تر برود.



وقتی ماهی شنا می کند، بین بدنش و آب اصطکاک وجود دارد. برای کم نگه داشتن اصطکاک، ماهی حالتی هموار و کم مقاومت در برابر آب دارد.

شکل ۳-۱۵

### ..... فعالیت ۳-۳

تصور کنید یک روز صبح بیدار می شوید و کشف می کنید که دیگر نیروی اصطکاک در دنیا وجود ندارد. داستان کوتاهی بنویسید و زندگی را در دنیای بدون اصطکاک شرح دهید.

### ..... مطالعه ی آزاد

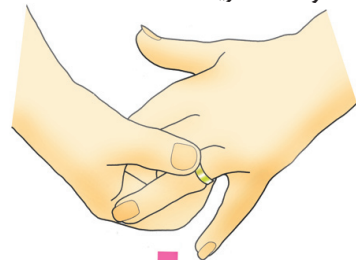
نگاهی دقیق تر به نیروی اصطکاک

شکل ۳-۱۷ الف جسمی را نشان می دهد که روی سطح افقی ساکن است. نیروی وزن  $\vec{W}$  و نیروی عمودی سطح  $\vec{N}$  بر آن اثر می کنند و جسم به حال سکون است. در شکل ۳-۱۷ ب نیروی افقی و کوچک  $\vec{F}$  به گونه ای بر جسم وارد شده است که جسم ساکن بماند. بنا بر قانون دوم نیوتون چون جسم در این حالت ساکن است، باید بر ایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین، باید یک نیروی افقی مانند  $\vec{f_s}$  به جسم وارد شود تا با خشی کردن نیروی  $\vec{F}$ ، مانع حرکت و شتاب گرفتن جسم شود. در این حالت چون جسم در حال سکون است نیروی  $\vec{f_s}$  را نیروی اصطکاک در حال سکون یا نیروی اصطکاک ایستایی می نامند.

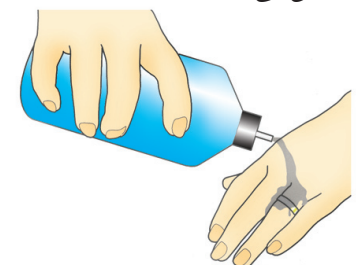
در شکل ۳-۱۷ پ نیروی افقی  $\vec{F}$  بیش تر شده است. به طوری که باز هم جسم در حال سکون است. همان طور که دیده می شود نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش یافته است. زیرا بنا بر قانون دوم نیوتون بر ایند نیروهای وارد بر جسم در این حالت باید صفر باشد.

در شکل ۳-۱۷ ت باز هم نیروی افقی  $\vec{F}$  افزایش یافته است. در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی به مقدار بیشینه ی خود یعنی  $\vec{f_{s,max}}$  رسیده است. به نیروی اصطکاک در این حالت نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت گفته می شود. زیرا به محض این که  $\vec{F}$  از  $\vec{f_{s,max}}$  بیش تر

این حلقه گیر کرده است، اصطکاک بین حلقه و انگشت زیاد است.



روان کننده اصطکاک را کاهش می دهد



با افزودن روان کننده ای مانند مایع ظرف شویی، حلقه به راحتی در می آید.

شکل ۳-۱۶

بیش تر بدانید



منشأ فیزیکی اصطکاک

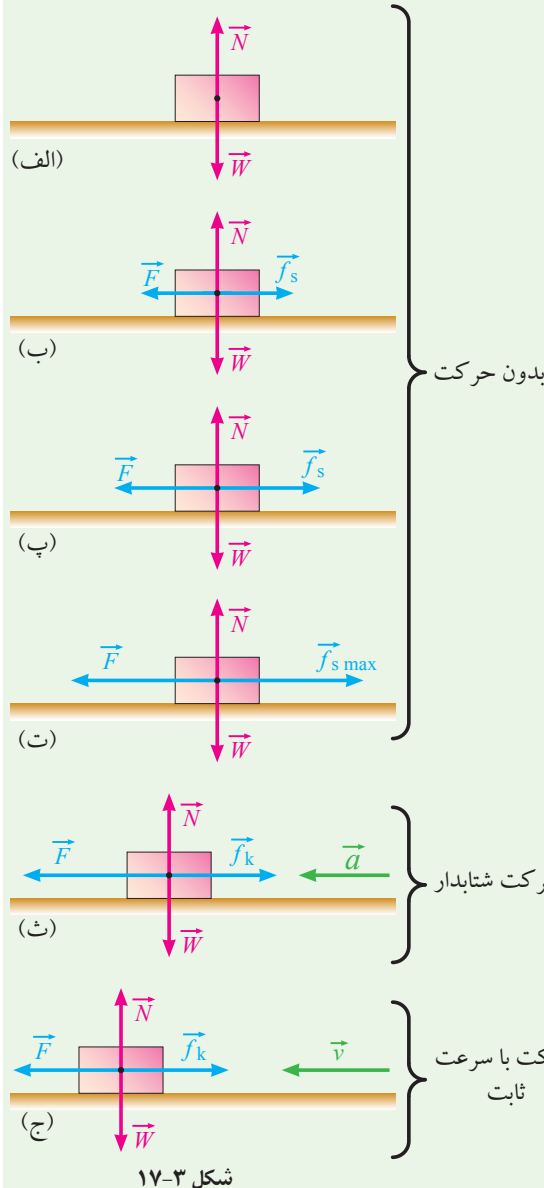


ابو منصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه ی علم الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره شناسان قرون ۵ و ۶ هجری قمری ایرانی است. درباره ی تاریخ تولد و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می شود که وفات او بعد از سال ۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می زیست و در همین شهر به کسب علم پرداخت و با جهد بسیار در حوزه ی دانش پیشرفت کرد.

چنان که در عهد ملک شاه سلجوقی در شهر مرو از ریاضی دانان و منجمان بزرگ به شمار می رفت. وی کتاب مشهور خود در نجوم و زیج معتبر سنجرى را در روزگار پادشاهی سلطان سنجر تدوین کرد و بنا بر رسوم آن زمان کتاب را به نام سنجر، زیج معتبر سنجرى نام گذاری نمود اما در مقابل چیزی از سلطان نپذیرفت. از خازنی کتاب های زیر را می شناسیم:

- زیج معتبر سنجرى یکی از آثار مهم نجوم دوره ی اسلامی
- رساله فی آلات العجیبه الرصدیه
- رساله الاعتبار در نجوم نظری
- میزان الحکمه، یکی از مهم ترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره ی اسلامی

شود جسم شروع به حرکت می کند. تجربه نشان می دهد بزرگی نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت از رابطه ی  $f_{s, \max} = \mu_s N$  به دست می آید که در آن  $\mu_s$  ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. توجه کنید این رابطه تنها برای حالتی که جسم در آستانه ی حرکت باشد به کار می رود. بنابر این نیروی اصطکاک ایستایی همواره از  $\mu_s N$  کوچک تر و مقدار بیشینه ی آن برابر  $\mu_s N$  است. یعنی داریم  $f_s \leq \mu_s N$ .



در شکل ۳-۱۷ نیروی افقی  $\vec{F}$  که اندازه ی آن بزرگ تر از نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت است به جسم وارد شده است. در نتیجه جسم با شتاب  $\vec{a}$  شروع به حرکت می کند. در هنگام حرکت جسم نیز نیروی اصطکاک به جسم وارد می شود که آن را نیروی اصطکاک جنبشی می نامند و با  $\vec{f}_k$  نمایش می دهند. تجربه نشان می دهد که بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی از رابطه ی  $f_k = \mu_k N$  به دست می آید که در آن  $\mu_k$  ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد.

پس از این که جسم شروع به حرکت کرد می توانیم اندازه ی نیروی افقی  $\vec{F}$  را کم کنیم. به طوری که هرگاه  $\vec{F}$  با اندازه ی  $\vec{f}_k$  برابر شود، حرکت جسم با سرعت ثابت خواهد بود. (شکل ۳-۱۷ ج) ضریب اصطکاک ایستایی  $\mu_s$  و ضریب اصطکاک جنبشی  $\mu_k$

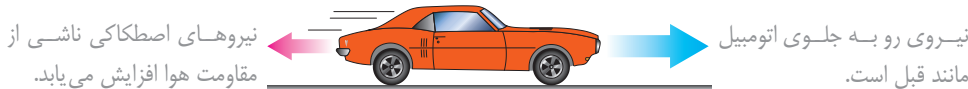
به عوامل مختلفی از جمله جسم های در تماس، میزان میقلی بودن سطح های در تماس، دما و میزان آلودگی سطح ها بستگی دارد. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی از ضریب اصطکاک جنبشی کوچک تر است، یعنی  $\mu_k < \mu_s$ .

**سرعت حدی:** وقتی راننده‌ای پدال گاز اتومبیل ساکنی را فشار می‌دهد، اتومبیل شتاب می‌گیرد. در این حالت تنها نیروی اصطکاک ناشی از سطح تماس لاستیک‌ها با جاده، با حرکت اتومبیل مخالفت می‌کند و نیروی مقاومت هوا وجود ندارد (شکل ۳-۱۸).



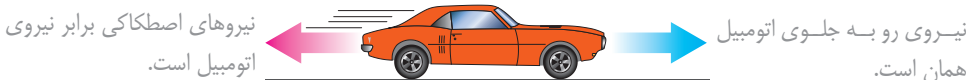
شکل ۳-۱۸ در این حالت نیروی پیش‌ران اتومبیل خیلی بزرگ‌تر از نیروی اصطکاک است و در نتیجه اتومبیل شتاب زیادی می‌گیرد.

با افزایش سرعت اتومبیل، نیروهای اصطکاک ناشی از مقاومت هوا نیز افزایش می‌یابند (شکل ۳-۱۹).



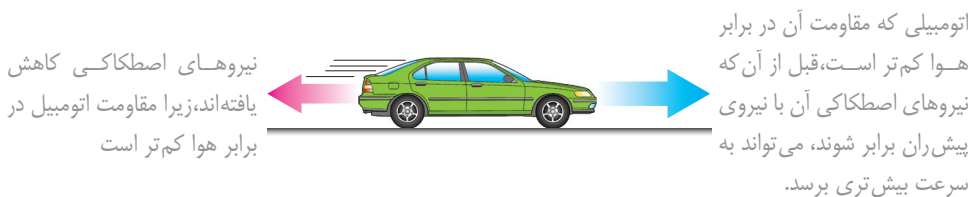
شکل ۳-۱۹ اختلاف نیروی پیش‌ران با نیروهای اصطکاک خیلی زیاد نیست، در نتیجه شتاب اتومبیل کم‌تر شده است.

سرانجام بزرگی نیروهای اصطکاک به بزرگی نیروهای پیش‌ران موتور می‌شوند و سرعت اتومبیل به بیشینه‌ای ثابتی می‌رسد که **سرعت حدی** اتومبیل نامیده می‌شود (شکل ۳-۲۰). برای حرکت سریع‌تر از این سرعت، باید موتور اتومبیل را با موتور دیگری که نیروی پیش‌ران بزرگ‌تری تولید می‌کند، جایگزین کنیم یا از اتومبیلی که مقاومت کم‌تری در برابر هوا دارد، استفاده کنیم.



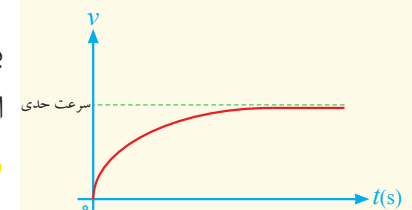
شکل ۳-۲۰ بزرگی نیروها برابر است و در نتیجه اتومبیل بدون شتاب است.

اتومبیلی که مقاومت آن در برابر هوا کمتر است راحت‌تر حرکت می‌کند، زیرا طراحی اتومبیل به گونه‌ای است که مقاومت هوا در حین حرکت آن کاهش یافته است (شکل ۳-۲۱).



شکل ۳-۲۱ سرعت حدی این اتومبیل می‌تواند بزرگ‌تر باشد.

شکل ۳-۲۲ نمودار سرعت-زمان اتومبیلی را نشان می‌دهد که از حال سکون، شتاب گرفته است. با افزایش سرعت اتومبیل، شیب نمودار کم‌تر شده است. این نشان می‌دهد که نیروهای اصطکاک افزایش یافته‌اند و شتاب اتومبیل در حال کاهش است.



شکل ۳-۲۲

### ۳-۴ اندازه حرکت (تکانه)

اندازه حرکت یا تکانه در گفتگوی روزمره دارای معنی‌های مختلفی است اما در فیزیک فقط دارای یک معنی دقیق است. اندازه حرکت یک کمیت برداری است که آن را با نماد  $\vec{P}$  نشان می‌دهند و برابر است با

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

که در آن  $m$  جرم ذره و  $\vec{v}$  سرعت آن است. چون  $m$  همیشه عددی مثبت است، رابطه‌ی تکانه نشان می‌دهد که  $\vec{p}$  و  $\vec{v}$  همواره هم‌جهت‌اند. یکای اندازه حرکت در SI، کیلوگرم-متر بر ثانیه ( $\text{kg.m/s}$ ) است.

### ..... مثال ۳-۵

ذره‌ای به جرم  $1\text{mg}$  و با سرعت ثابت  $10\text{m/s}$  در امتداد محور  $x$  در حرکت است. اندازه حرکت (تکانه‌ی) این ذره چقدر است؟  
**حل :** جرم ذره در SI برابر است با:

$$m = 1\text{mg} = 1 \times 10^{-3}\text{g} = 1 \times 10^{-3} \times 10^{-3}\text{kg} = 10^{-6}\text{kg}$$

چون ذره در امتداد محور  $x$  در حرکت است، راستای اندازه حرکت آن نیز در همین امتداد است. بنابراین بزرگی اندازه حرکت ذره برابر است با:

$$P = mv = (10^{-6}\text{kg}) \times (10\text{m/s}) = 10^{-5}\text{kg.m/s}$$

**قانون دوم نیوتون بر حسب اندازه حرکت:** بنا بر قانون دوم نیوتون داریم

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

اگر برآیند نیروهای وارد بر جسم ثابت باشد، شتاب حرکت جسم نیز ثابت خواهد. در این صورت می‌توان نوشت

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}{\Delta t}$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_f - m\vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{\vec{p}_f - \vec{p}_i}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

رابطه‌ی  $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$  بیان قانون دوم نیوتون بر حسب اندازه حرکت نامیده می‌شود. به این ترتیب قانون دوم نیوتون را به صورت زیر نیز می‌توان بیان کرد

برآیند نیروهای وارد بر جسم برابر است با آهنگ

تغییر اندازه حرکت جسم

#### شبیه‌سازی



- اصطکاک و تغییر دما
- نقش کیسه‌ی هوا در اتومبیل

### مثال ۳-۷

گلوله‌ای به جرم  $20\text{ g}$  با سرعت  $50\text{ m/s}$  در امتداد افق به دیواری برخورد می‌کند و در همان امتداد در دیوار فرو می‌رود. اگر گلوله پس از برخورد با دیوار به مدت  $0.05\text{ s}$  ثانیه در دیوار پیش برود، نیروی متوسط وارد بر گلوله از طرف دیوار چقدر است؟

**حل:** سرعت جسم پیش از برخورد به دیوار  $v_1 = 50\text{ m/s}$  و پس از فرو رفتن در دیوار و متوقف شدن برابر  $v_2 = 0$  است. بنابراین تغییر سرعت گلوله در مدت  $\Delta t = 0.05\text{ s}$  برابر  $\Delta v = v_2 - v_1 = -50\text{ m/s}$  است. بنابراین نیروی متوسط وارد بر گلوله برابر است با

$$\bar{F} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = (0.02\text{ kg}) \frac{(-50\text{ m/s})}{0.05\text{ s}} = -20\text{ N}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که نیرو در خلاف جهت حرکت گلوله به آن وارد شده است. به همین جهت گلوله پس از مدت کوتاهی متوقف شده است.

#### بیش‌تر بدانید



- افزایش تکانه‌ی یک جسم
- کاهش تکانه‌ی یک جسم

#### فعالیت عملی



- مقایسه‌ی تکانه‌ی چند جسم مختلف

### مطالعه‌ی آزاد

قانون پایستگی اندازه حرکت

در صورتی‌که هیچ نیرویی به ذره یا جسمی وارد نشود یا برابند نیروهای وارد بر ذره صفر باشد، شتاب جسم نیز صفر خواهد بود و ذره با سرعت ثابت حرکت خواهد کرد. پس در این شرایط می‌توان گفت اندازه حرکت ذره ثابت می‌ماند. یعنی

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow \Delta \vec{P} = 0 \Rightarrow \vec{P}_1 = \vec{P}_2$$

حال فرض کنید به جای ذره، سامانه‌ای شامل مجموعه‌ای از ذره‌ها در اختیار داشته‌ایم و اگر هیچ نیرویی از بیرون به این سامانه وارد نشود یا برابند نیروهای خارجی وارد بر این سامانه صفر باشد (یعنی سامانه منزوی باشد) و همچنین هیچ ذره‌ای وارد سامانه یا از آن خارج نشود (یعنی سامانه بسته باشد)، در این صورت برای این سامانه نیز نتیجه می‌گیریم اندازه حرکت کل سامانه نمی‌تواند تغییر کند. این نتیجه قانون پایستگی اندازه‌ی حرکت نامیده می‌شود که آن را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_2 \text{ (سامانه‌ی بسته‌ی منزوی)}$$

به عبارت دیگر این معادله حاکی از آن است که برای سامانه‌ی بسته‌ی منزوی داریم

اندازه‌ی حرکت کل در لحظه‌ی بعدی  $t_2$  = اندازه‌ی حرکت کل در لحظه‌ی اولیه‌ی  $t_1$

توجه: اندازه‌ی حرکت را نباید با انرژی اشتباه گرفت. ممکن است در یک سامانه‌ی بسته‌ی منزوی اندازه‌ی حرکت پایسته باشد ولی انرژی پایسته نباشد.

## پرسش های مفهومی

۱- یک اتومبیل ویژه ی مسابقه، موتور پر قدرتی دارد اما از مواد بسیار سبک و مستحکمی ساخته شده است. ویژگی های این اتومبیل را بر پایه ی رابطه ی  $F=ma$  توضیح دهید.

۲- توپی را به هوا پرتاب می کنیم. شکلی رسم کنید و نیرو(ها)ی وارد به توپ را در حالی که بالا می رود نشان دهید.

۳- هرگاه بادکنکی را باد کنیم و سپس آن را رها کنیم مشاهده می شود که در حالی که هوای درون بادکنک تخلیه می شود بادکنک بر خلاف جهت خروج هوا حرکت می کند. در شکل ۳-۲۳ حرکت موشک با یک بادکنک مقایسه شده است. به کمک قانون های نیوتون حرکت هر یک را شرح دهید. به جهت خروج هوا از بادکنک یا گازهای داغ از موشک توجه کنید.

۴- مطابق شکل ۳-۲۴ نیروهای A، B، C، D و E به اتومبیل وارد شده اند. الف) با انتخاب یکی از نیروهای A تا E جمله های زیر را کامل کنید.

نیروی ..... نیرویی است که رو به جلو از طرف موتور به اتومبیل وارد می شود.

نیروی ..... نیرویی است که رو به عقب از طرف مقاومت هوا به اتومبیل وارد می شود.

ب) اندازه ی نیروهای A و E می تواند تغییر کند. مقدار نیروی A با نیروی B را در حالت هایی که در جدول زیر داده شده است، با هم مقایسه کنید.

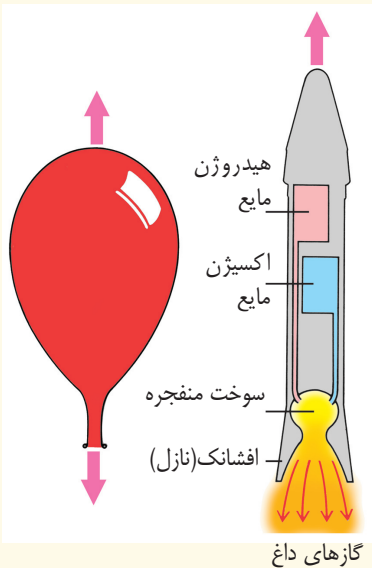
نیروی A بزرگ تر از نیروی E است	نیروی A مساوی نیروی E است	نیروی A کوچک تر از نیروی E است	مقایسه ی نیروها نوع حرکت اتومبیل
			ساکن است
			شتابدار تندشونده
			سرعت ثابت
			شتابدار کندشونده

پ) در چه زمانی نیروی E مساوی صفر است؟

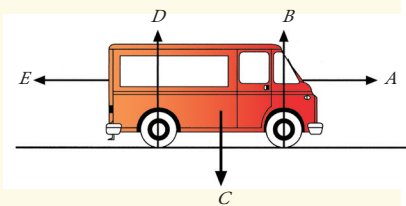
ت) اتومبیل مشکلی پیدا می کند و در هر ثانیه یک قطره روغن از آن روی جاده می ریزد. در نمودار زیر قطره های روغن ریخته شده از اتومبیل هنگام حرکت روی جاده نشان داده شده است.

W . . . . . X . . . . . Y . . . . . Z

نوع حرکت اتومبیل را در نقطه های زیر توضیح دهید.



شکل ۳-۲۳



شکل ۳-۲۴

۱. از نقطه‌ی W تا X

۲. از نقطه‌ی X تا Y

۳. از نقطه‌ی Y تا Z

۵- الف) اصطکاک چیست و چه می‌کند؟

ب) دو وضعیت را بیان کنید که در آن‌جا وجود اصطکاک اهمیت دارد.

پ) دو وضعیت را بیان کنید که کم کردن اصطکاک تا حد ممکن مهم است.

ت) دو راه برای افزایش و دو راه برای کاهش اصطکاک بین دو سطح بیان کنید.

۶- چتر بازی از هواپیمایی بیرون می‌پرد. پس از مدت کوتاهی چتر او باز می‌شود. توضیح دهید

باز شدن چتر چگونه باعث کاهش اندازه حرکت چتر باز می‌شود به‌طوری‌که سرانجام به

سلامت به زمین می‌رسد.

### مسئله‌ها

۱- در مکان خاصی وزن جسمی به جرم  $1\text{ kg}$  برابر با  $1\text{ N}$  است. وزن جرم‌های زیر در آن‌جا

چقدر است؟

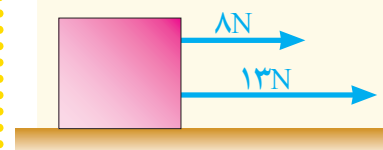
پ)  $5\text{ g}$

ب)  $5\text{ kg}$

الف)  $100\text{ g}$

۲- نیروهای وارد بر جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  که در امتداد افق در حرکت است مطابق شکل

۲۵-۳ است. شتاب جسم چقدر است؟



شکل ۲۵-۳

۳- جسمی به جرم  $500\text{ g}$  روی سطح افقی بدون اصطکاکی بانیروی ثابت  $F$  روی خط راست

کشیده می‌شود و در مدت  $2\text{ s}$  مسافت  $8\text{ m}$  را می‌پیماید.

الف) شتاب حرکت جسم چقدر است؟

ب) مقدار نیروی  $F$  را حساب کنید.

۴- دوچرخه سواری روی جاده‌ای صاف از حالت سکون و با شتاب ثابت

شروع به حرکت می‌کند (شکل ۲۶-۳) و در مدت  $10\text{ s}$  سرعت او به

$5\text{ m/s}$  می‌رسد. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

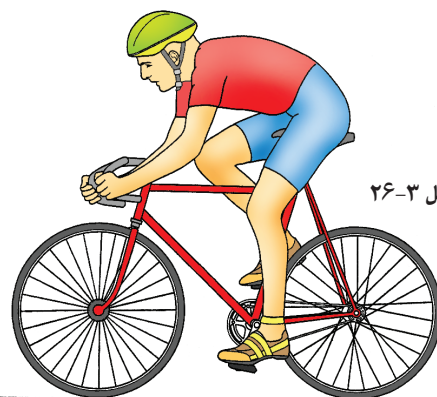
الف) شتاب حرکت دوچرخه‌سوار.

ب) سرعت متوسط دوچرخه‌سوار در مدت  $10\text{ s}$ .

پ) مسافت پیموده‌شده در مدت  $10\text{ s}$ .

سرانجام، باین که دوچرخه‌سوار شدیداً رکاب می‌زند، سرعتش پس از

رسیدن به مقداری بیشینه، زیاد نشده و شتاب حرکت او صفر می‌شود.

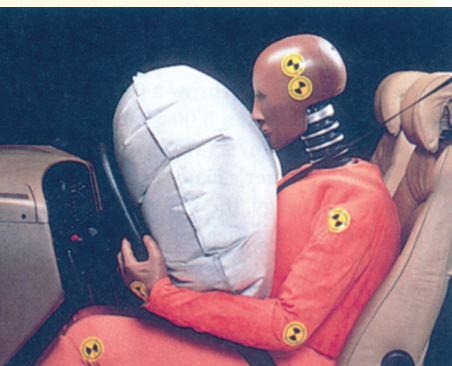


شکل ۲۶-۳



ت) سرعت بیشینه ی دوچرخه سوار چه نامیده می شود؟

ث) این رویداد را بر حسب نیروهای وارد بر دوچرخه سوار توضیح دهید.



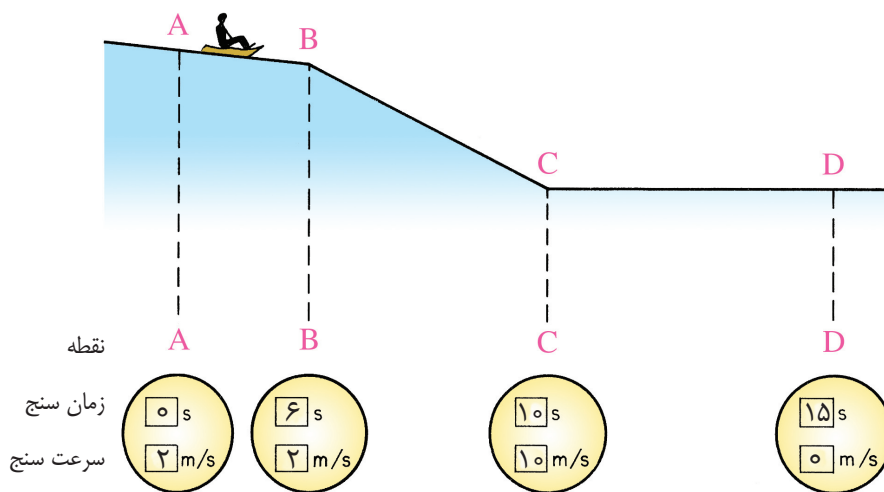
شکل ۳-۲۷

۵- برای آزمایش کمربند ایمنی یک اتومبیل، آدمکی را به جرم  $55\text{kg}$  انتخاب می کنند و با کمربند ایمنی روی صندلی می نشانند (شکل ۳-۲۷). پیش از آن که اتومبیل به یک دیوار آجری برخورد کند، سرعت آن  $35\text{m/s}$  است. در این موقعیت کمربند ایمنی به آدمک اجازه می دهد تنها مسافتی برابر  $60\text{cm}$  با حرکت شتابدار و با شتاب ثابت روی صندلی به طرف جلو حرکت کند.

الف) شتاب کندشونده ی آدمک را به دست آورید.

ب) مقدار نیرویی را که کمربند ایمنی به آدمک وارد می کند حساب کنید.

۶- شخصی با یک سورتme از سطح شیب داری پایین می آید. جرم کل شخص و سورتme برابر با  $100\text{kg}$  است. زمان و سرعت او همزمان با وسیله ای (زمان سنج - سرعت سنج) که به سورتme متصل است اندازه گیری می شود. مقدارهای اندازه گیری شده در نقطه های A، B، C و D در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است.

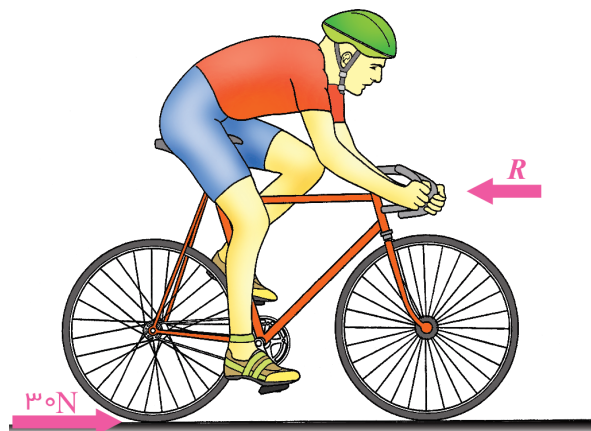


شکل ۳-۲۸

الف) در هر بخش، نوع حرکت سورتme را توضیح دهید.

ب) متوسط نیروی وارد شده به سورتme را در فاصله ی CD حساب کنید.

۷- سرعت دوچرخه‌سواری برابر با  $5\text{ m/s}$  است. در مدت ۵ ثانیه سرعت او به  $7\text{ m/s}$  افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲۹-۳

### شبیه‌سازی



● حرکت ماهواره (در ارتباط با مسئله‌ی ۸)

الف) شتاب دوچرخه‌سوار چقدر است؟

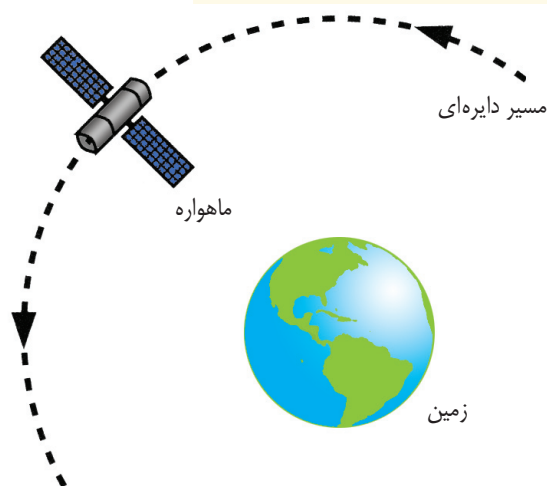
ب) در شکل ۲۹-۳ جرم دوچرخه‌سوار با دوچرخه‌اش  $80\text{ kg}$  است. نیرویی که از طرف جاده رو به جلو به دوچرخه وارد می‌شود برابر با  $30\text{ N}$  است. اگر شتاب دوچرخه‌سوار برابر با مقدار قسمت الف) باشد، نیروی مقاومت باد  $R$  را به دست آورید.

۸- شکل ۳۰-۳ مسیر ماهواره‌ای را به دور زمین نشان می‌دهد.

الف) برای این که ماهواره در مسیر دایره‌ای دور زمین حرکت کند، لازم است نیرویی به طرف زمین به ماهواره وارد شود. به این نیرو که جهت آن به طرف مرکز زمین است، نیروی مرکز‌گرا نیز گفته می‌شود. توضیح دهید برای حرکت ماهواره در مداری اطراف زمین، این نیروی مرکز‌گرا از کجا تأمین می‌شود.

ب) اگر جرم ماهواره بیش‌تر شود نیروی مرکز‌گرایی لازم چه تغییری می‌کند؟

پ) اگر ماهواره در مداری به فاصله‌ی  $600$  کیلومتری سطح زمین در حرکت باشد و جرم ماهواره  $400\text{ kg}$  باشد، بزرگی نیروی مرکز‌گرایی وارد شده به ماهواره چقدر است؟ جرم زمین  $6 \times 10^{24}\text{ kg}$  و شعاع آن  $6400\text{ km}$  است. (فرض کنید همه‌ی جرم زمین در مرکز آن متمرکز باشد.)



شکل ۳۰-۳



## کاربرد قانون های نیوتون



چرا هر قدر دسته‌ی آچار بلندتر  
باشد، باز کردن پیچ راحت‌تر است؟

## سیمای فصل

۱-۴ نیروهای چرخاننده: گشتاورها

۲-۴ گرانیگاه (مرکز گرانش)

۳-۴ تعادل و پایداری جسمها

۴-۴ نیروهای کشسانی

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



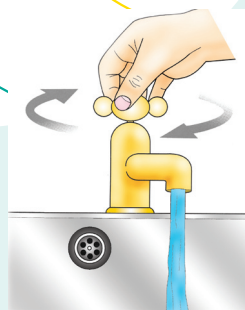


## کاربرد قانون های نیوتون

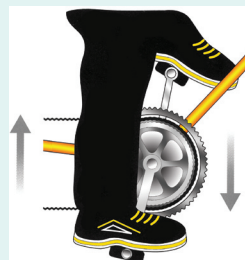
در فصل قبل با مفهوم نیرو و اثرهای آن و همچنین قانون های نیوتون آشنا شدیم. هرچند اثر نیروهایی را که جسمی را هل می دهند و می کشند، جسمها را به حرکت وا می دارند یا حرکت آنها را کند می سازند، به سهولت می توان شناخت، اما نیروهایی که به جسمهای در حال تعادل، مثلاً جسمهای ساکن وارد می شوند، کمتر آشکارند. در این فصل ضمن آشنایی با نیروهای چرخاننده، باگرانیگاه یا مرکز گرانش جسمها آشنا خواهیم شد. پس از آن به بررسی تعادل و پایداری جسمها و انواع آن می پردازیم و در پایان نیروهای کشسانی و قانون هوک را بررسی می کنیم.

## ۱-۴ نیروهای چرخاننده: گشتاورها

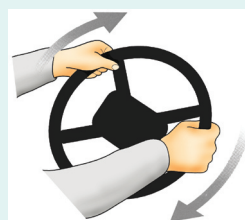
**گشتاور نیرو:** بعضی مواقع، هنگامی که نیرویی به جسمی وارد می‌کنیم، سبب چرخش یا دوران جسم می‌شود. اثر چرخش یا چرخاندگی یک نیرو، **گشتاور** آن نیرو نامیده می‌شود. شکل ۱-۴ گشتاورهایی را که توسط نیروها به وجود آمده‌اند، نشان می‌دهد. برای آن که دریابید چه عامل‌هایی در گشتاور نیرو دخالت دارند، فعالیت ساده‌ای را که در ادامه آمده است انجام دهید.



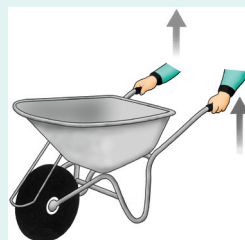
انگشت‌ها گشتاوری به وجود می‌آورند که شیر را می‌چرخاند.



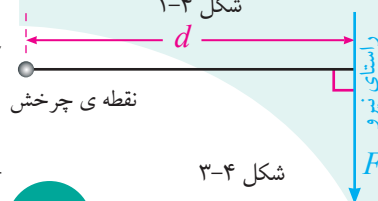
با فشردن رکاب گشتاوری ایجاد می‌شود که چرخ‌دنده‌ها و زنجیر را می‌چرخاند.



کشیدن یک دست و هل دادن دست دیگر، گشتاوری ایجاد می‌کند که فرمان را می‌چرخاند.



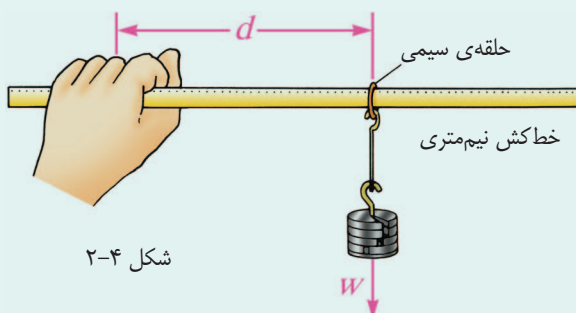
بالا آوردن دسته‌ها، گشتاوری ایجاد می‌کند که فرقون را حول نقطه‌ی چرخش می‌چرخاند.



شکل ۳-۴

### ..... فعالیت ۱-۴

کفه‌ای را به یک حلقه‌ی فلزی که می‌تواند روی یک خط‌کش نیم‌متری جابه‌جا شود، آویزان کنید. چند وزنه روی کفه قرار دهید، سپس انتهای خط‌کش را در دست بگیرید و همواره سعی کنید آن را افقی نگه دارید. (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴

- با انجام هریک از کارهای زیر، اثر چرخشی یا گشتاور نیرویی را که به دستتان وارد می‌شود، و باید با آن مقابله کنید تا خط‌کش افقی بایستد، احساس می‌کنید.
- محل حلقه را ثابت نگه دارید و وزنه‌ها را زیادتر کنید.
- وزنه‌ها را ثابت نگه دارید، و فاصله‌ی حلقه‌ی فلزی تا دستتان را زیادتر کنید.

همان‌طور که فعالیت ۱-۴ نیز نشان می‌دهد، گشتاور نیرو، هم به بزرگی نیرو و هم به فاصله‌ی نیرو از نقطه‌ی چرخش بستگی دارد. (نقطه‌ی چرخش، نقطه‌ی دلخواهی است که گشتاور نیرو را نسبت به آن محاسبه می‌کنیم. این نقطه می‌تواند روی تکیه‌گاه جسم یا روی محور چرخش آن باشد.)

بزرگی گشتاور نیرو،  $\tau$  مطابق شکل ۳-۴ برابر است با حاصل ضرب اندازه‌ی نیرو،  $F$ ، در فاصله‌ی عمودی نقطه‌ی چرخش از راستای نیرو،  $d$ ، که با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود<sup>(۱)</sup>

$$\tau = Fd$$

یکای گشتاور نیرو، نیوتون متر  $N.m$  است.

۱- نماد گشتاور نیرو  $\tau$  (بخوانید: تاو)، یکی از حرف‌های یونانی است.

گشتاور نیرو، کمیتی برداری است و جهت چرخش، به جهت نیرو بستگی دارد. برای مثال، هنگامی که می خواهید به کمک آچاری، پیچی را باز یا بسته کنید باید در دو جهت متفاوت نیرو وارد کنید تا گشتاور نیروی ایجاد شده در دو حالت اثر چرخشی متفاوتی به وجود آورد.

### ..... مثال ۴-۱

طول دسته ی رکاب یک دوچرخه ۱۶cm است و دوچرخه سواری با پای خود نیرویی به بزرگی ۴۰۰N را به سمت پایین به آن وارد می کند. گشتاور نیرو را در حالتی که دسته ی رکاب افقی است به دست آورید (شکل ۴-۴).

**حل:** وقتی رکاب افقی است نیروی پا به سوی پایین و بر آن عمود است. بنابراین فاصله ی عمودی نقطه ی چرخش از راستای نیرو  $d=0.16m$  است. با استفاده از رابطه ی گشتاور نیرو داریم

$$\tau = Fd = (400 \text{ N})(0.16 \text{ m}) = 64 \text{ N.m}$$

شکل ۴-۴

**تعادل گشتاورها:** الاکلنگ وسیله ی ساده و آشنایی است که نشان می دهد گشتاورها چگونه می توانند متعادل شوند. شکل ۴-۵ حالتی را نشان می دهد که گشتاورها متعادل نیستند. گشتاور پادساعتگرد، بزرگ تر از گشتاور ساعتگرد است.

#### شبیه سازی



- تعادل گشتاورها در ترازو
- بررسی تعادل گشتاورها

وقتی این پسر بچه در طرف راست الاکلنگ می نشیند، وزن او گشتاوری ایجاد می کند که الاکلنگ را ساعتگرد می چرخاند.

وزن این بچه در طرف چپ گشتاوری ایجاد می کند که الاکلنگ را پاد ساعتگرد می چرخاند.

این گشتاور برابر است با:  
 $600 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 1800 \text{ N.m}$

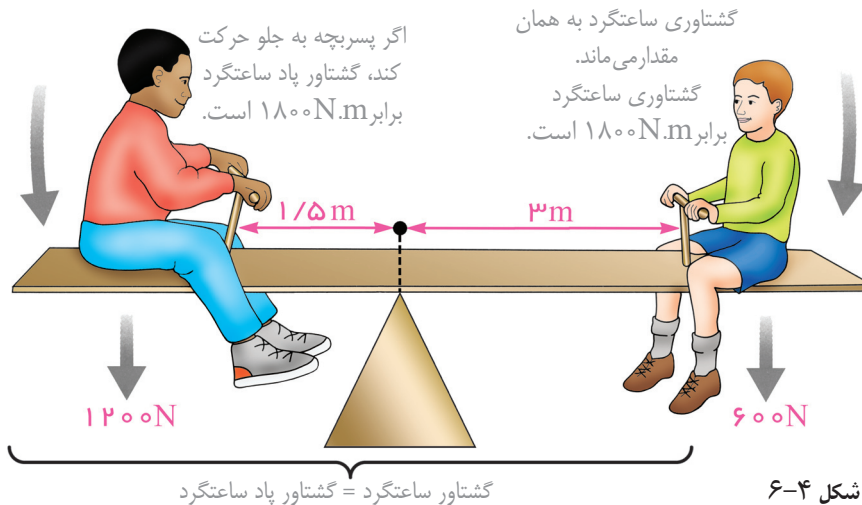
این گشتاور برابر است با:  
 $1200 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 2400 \text{ N.m}$

شکل ۴-۵

اگر پسر بچه جلوتر رود، به طوری که در فاصله ی  $1/5 \text{ m}$  از مرکز چرخش (تکیه گاه) قرار گیرد، گشتاور پادساعتگرد کاهش می یابد (شکل ۴-۶).



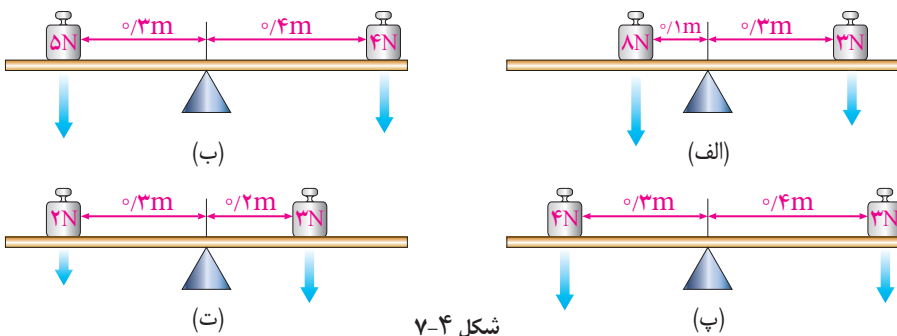
در این حالت، آلاکلنگ در تعادل است، زیرا گشتاور ساعتگرد با گشتاور پادساعتگرد برابر است. این موضوع اصل گشتاورها نامیده می‌شود.



شکل ۴-۶

### پرسش ۴-۱

با استفاده از اصل گشتاورها بررسی کنید کدام یک از آلاکلنگ‌های شکل ۴-۷ در حال تعادل اند؟



شکل ۴-۷

**جسم در حال تعادل:** جسمی را در حال تعادل گویند که هر دو شرط زیر به طور همزمان دربارهی آن برقرار باشد.

**شرط اول:** براینده نیروهای وارد بر آن صفر باشد.

**شرط دوم:** جمع گشتاور نیروهای ساعتگرد حول نقطه‌ی چرخش، برابر با جمع گشتاور نیروهای پادساعتگرد حول همان نقطه‌ی چرخش باشد.

به کمک معادله‌های مربوط به دو شرط بالا می‌توانیم اندازه‌های نیروهای نامعلوم، یا فاصله‌ی نقطه‌ی اثر نیروها را از نقطه‌ی چرخش حساب کنیم. برای انجام این کار به روشی که در ادامه آمده است، عمل می‌کنیم.

الف) جهت‌هایی را انتخاب می‌کنیم تا معادله‌های نیروها را آسان کنند. برای مثال: برای جسمی در حال تعادل، برآیند نیروهای رو به بالا و برآیند نیروهای رو به پایین همواره با هم برابرند.

ب) نقطه‌ی چرخش را به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که محاسبه‌ی گشتاورهای نیروها آسان شود. اگر بیش از دو نیرو وجود داشته باشد، نقطه‌ی چرخش را جایی انتخاب می‌کنیم که یکی از نیروها در آن جا به جسم وارد می‌شود. در این صورت، گشتاور آن نیرو، حول آن نقطه‌ی چرخش صفر می‌شود و بنابراین محاسبه ساده‌تر خواهد شد.

### ..... مثال ۴-۲

شکل ۴-۸ سه نیروی قائم را که بر یک فرقون وارد می‌شوند، نشان می‌دهد. اگر فرقون بالا و پایین نرود و نچرخد، در حال تعادل است. نیروی لازم برای نگه داشتن دسته‌ها  $F$ ، و اندازه‌ی نیروی  $R$  که بر محور چرخ وارد می‌شود را محاسبه کنید.

**حل:** با توجه به شرط اول داریم

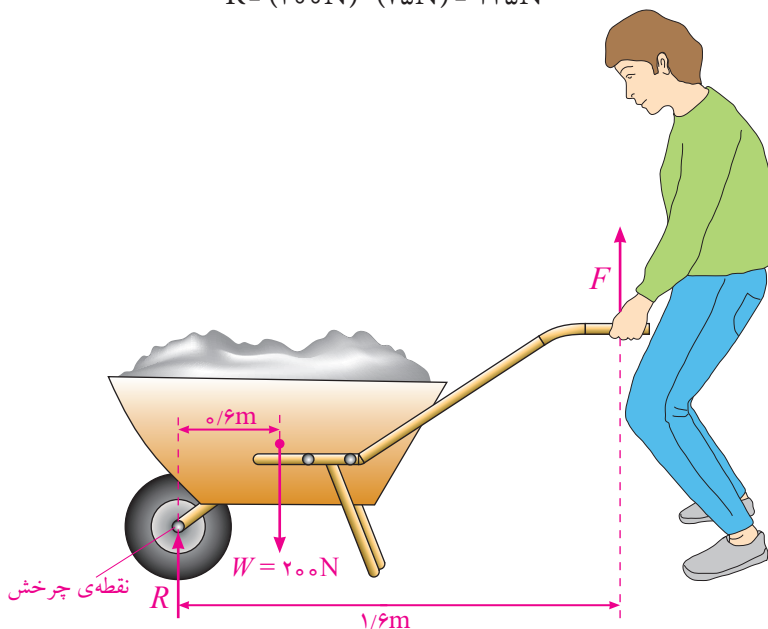
$$F + R = W$$

بر اساس شرط دوم می‌توانیم اصل گشتاورها را حول نقطه‌ی چرخش که روی محور چرخ انتخاب کرده‌ایم، بنویسیم. بر اساس این شرط، گشتاور ساعتگرد نیروی بالا برنده‌ی  $F$  با گشتاور پادساعتگرد وزن فرقون و بار  $W$ ، برابر است. یعنی

$$(1/6m) \times F = (0/6m) \times (200N) \Rightarrow F = 75N$$

به این ترتیب بزرگی نیروی  $R$  برابر است با

$$R = (200N) - (75N) = 125N$$



شکل ۴-۸

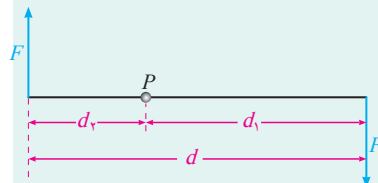
**زوج نیرو:** وقتی به کمک دست‌های خود فرمان دوچرخه یا اتومبیلی را می‌چرخانیم، دو نیروی موازی و با جهت مخالف به فرمان وارد می‌کنیم. این دو نیرو متعادل نیستند، زیرا اثر چرخشی یکدیگر را خنثی نمی‌کنند و گشتاور دارند. این دو نیرو را **زوج نیرو** می‌نامند. به این ترتیب، زوج نیرو، نیروهایی هستند که بر یک جسم وارد می‌شوند و شرط‌های زیر را دارند

- اندازه‌های آن‌ها برابر و جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است.
- روی یک خط راست وارد نمی‌شوند.
- گشتاوری بر جسم وارد می‌کنند و بنابراین تمایل دارند که آن را بچرخانند.
- برآیند آن‌ها صفر است.

شکل ۹-۴ زوج نیرویی را نشان می‌دهد که سبب چرخش میله‌ای حول نقطه‌ی چرخش P می‌شود. اندازه‌ی گشتاور زوج نیرو حول نقطه‌ی چرخش P با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید. توجه کنید گشتاور زوج نیرو ساعتگرد است

$$\tau = Fd_1 + Fd_2 = F(d_1 + d_2) = Fd$$

بنابراین اندازه‌ی گشتاور یک زوج نیرو برابر است با حاصل ضرب بزرگی یکی از نیروها ضربدر فاصله‌ی عمودی دو نیرو از هم.



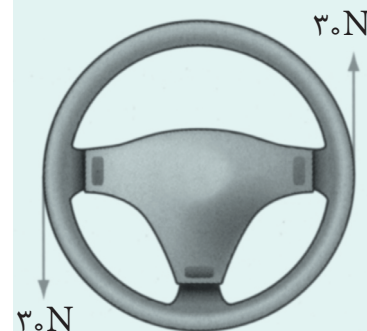
شکل ۹-۴

### ..... مثال ۳-۴

دست‌های راننده‌ای، زوج نیرویی به بزرگی  $30\text{ N}$  به فرمان اتومبیلی وارد می‌کنند (شکل ۱۰-۴). اگر قطر فرمان  $40\text{ cm}$  باشد، بزرگی گشتاور زوج نیروی وارد بر فرمان چقدر است؟

**حل:** با استفاده از رابطه‌ی  $\tau = Fd$  داریم

$$\tau = (30\text{ N}) \times (0.40\text{ m}) = 12\text{ N.m}$$



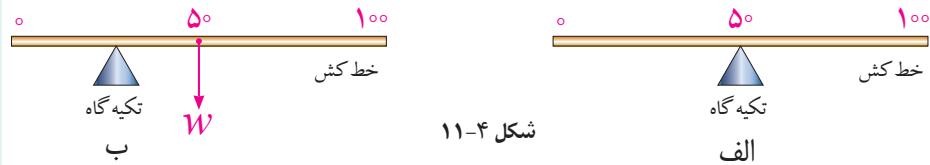
شکل ۱۰-۴

### ۲-۴ گرانیگاه (مرکز گرانش)

به تمام اجزای سازنده‌ی هر جسم از طرف زمین نیروی جاذبه‌ی گرانشی وارد می‌شود، به عبارت دیگر هر ذره از جسم دارای وزن است. به همین دلیل وزن یک جسم، برآیند وزن همه‌ی ذره‌های سازنده‌ی آن جسم است. یک جسم به گونه‌ای رفتار می‌کند که گویی وزن کل آن، به یک نقطه وارد می‌شود. این نقطه را **گرانیگاه** یا **مرکز گرانش** جسم گویند.

گرانیگاه یک خط‌کش یکنواخت در مرکز آن قرار دارد و هنگامی که خط‌کش در این نقطه روی

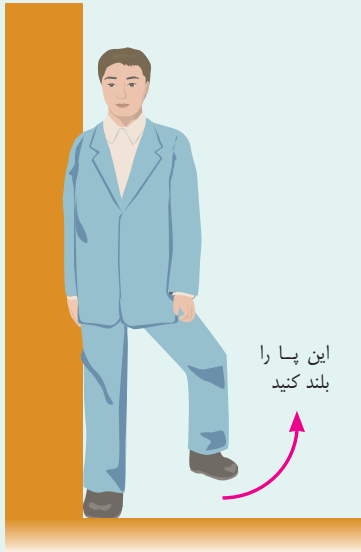
تکیه گاهی قرار گیرد به تعادل می رسد (شکل ۱۱-۴ الف). اگر این خط کش در هر نقطه ای دیگر به جز گرانیگاه، روی تکیه گاه قرار گیرد تعادل ندارد زیرا گشتاور نیروی ناشی از وزن خط کش حول تکیه گاه صفر نیست (شکل ۱۱-۴ ب).



شکل ۱۱-۴

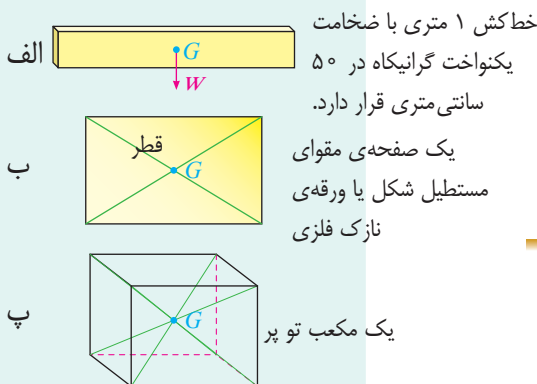
## ..... فعالیت ۲-۴

مطابق شکل ۱۲-۴ یک طرف بدن خود را به دیواری تماس دهید و در همان حال سعی کنید پای دیگر خود را بلند کنید، آیا می توانید بدون آن که بیفتید این کار را انجام دهید! (راهنمایی: ابتدا گرانیگاه بدنتان را در این وضعیت به طور تقریبی پیدا کنید و با توجه به مفاهیمی که تاکنون آشنا شده اید به علت این پدیده پاسخ دهید).

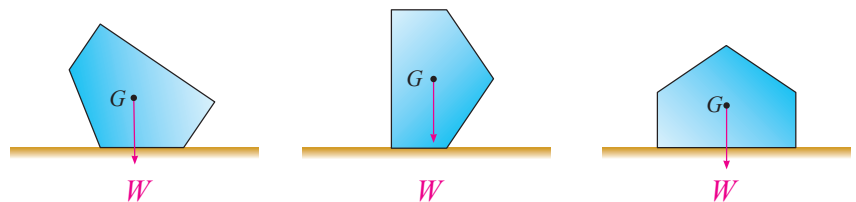


شکل ۱۲-۴

در شکل ۱۳-۴ سه وضعیت متفاوت یک جسم نشان داده شده است. چنان که دیده می شود، گرانیگاه، نقطه ی  $G$ ، همواره در یک نقطه ی معین نسبت به جسم باقی می ماند (با این که ممکن است ارتفاع آن از سطح زمین تغییر کند). بردار نیروی وزن جسم همیشه از آن نقطه می گذرد.



شکل ۱۴-۴ گرانیگاه چند جسم با شکل منظم که ماده ی تشکیل دهنده ی آن ها به طور یکنواخت توزیع شده است.



شکل ۱۳-۴ برای تمام وضعیت های جسم، بردار نیروی وزن از گرانیگاه  $G$  می گذرد.

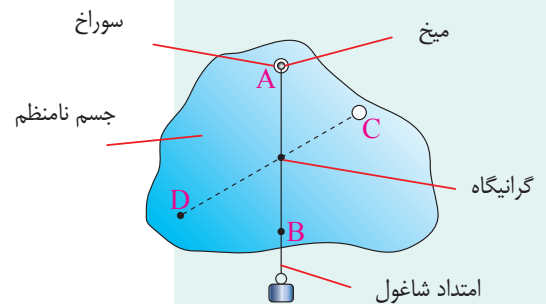
## گرانیگاه در جسم هایی با شکل منظم: هرگاه ماده ی تشکیل دهنده ی

جسمی به طور یکنواخت در آن توزیع شده باشد و شکل آن منظم باشد، گرانیگاه جسم در مرکز هندسی آن قرار دارد. در شکل ۱۴-۴ گرانیگاه چند جسم منظم با ویژگی ذکر شده نشان داده شده است. توجه کنید که گرانیگاه یک جسم، الزاماً داخل آن نیست (مانند گرانیگاه یک لوح فشرده،  $CD$ ، که در مرکز آن است، شکل ۱۴-۴ ث).

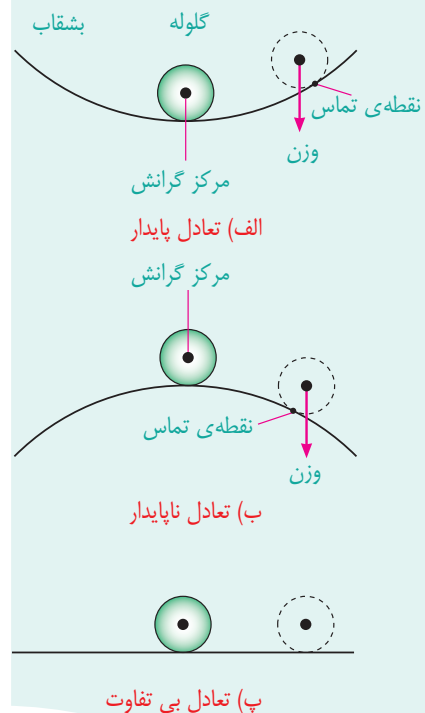
## فعالیت عملی



- گرانیگاه یک سامانه‌ی چند جسمی
- یافتن گرانیگاه یک جسم نامنظم
- یافتن گرانیگاه یک میله



شکل ۴-۱۵



شکل ۴-۱۶

**گرانیگاه در جسم‌های نامنظم:** منظور از جسم نامنظم، جسمی است که شکل هندسی آن نامنظم است یا ماده تشکیل‌دهنده‌ی آن به طور یکنواخت توزیع نشده است یا جسمی که هردو ویژگی ذکر شده را داشته باشد. در صورتی که جسم نامنظم باشد به سادگی نمی‌توان گرانیگاه آن را تعیین کرد و لازم است به روشی که در ادامه آمده است عمل کنیم.

- ۱- روی جسم نامنظمی که می‌خواهیم گرانیگاه آن را تعیین کنیم دو سوراخ کوچک در نزدیکی لبه‌های آن ایجاد می‌کنیم. (سوراخ‌های A و C در شکل ۴-۱۵).
- ۲- میخی را در جایی محکم کرده و جسم را از یکی از سوراخ‌ها به میخ آویزان می‌کنیم به طوری که جسم بتواند آزادانه نوسان کند، شکل ۴-۱۵.
- ۳- شاغولی را توسط قطعه‌ای نخ به میخ می‌بندیم.
- ۴- پس از این که جسم و شاغول از حرکت باز ایستادند، خطی در امتداد نخ شاغول روی جسم می‌کشیم (خط AB روی شکل ۴-۱۵).
- ۵- این عمل را برای سوراخ دیگر انجام می‌دهیم. محل برخورد دو خط رسم شده، گرانیگاه جسم است.

## ۳-۴ تعادل و پایداری جسم‌ها

تا اینجا با گشتاور، شرایط تعادل یک جسم و چگونگی پیدا کردن گرانیگاه در جسم‌هایی با شکل منظم و نامنظم آشنا شدیم. در این بخش با انواع تعادل یک جسم آشنا خواهیم شد.

### الف) تعادل پایدار

جسمی در تعادل پایدار است که هرگاه اندکی جابه‌جا شود و سپس رها شود به وضعیت اولیه‌ی خود برگردد. شکل ۴-۱۶ الف که گلوله‌ای را در ته کاسه‌ای نشان می‌دهد نمونه‌ای از تعادل پایدار است.

### ب) تعادل ناپایدار

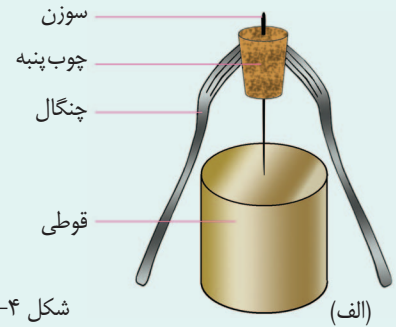
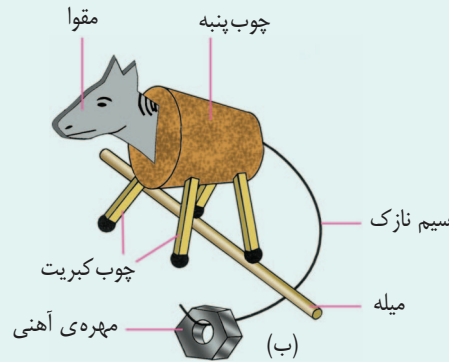
جسمی در تعادل ناپایدار است که هرگاه اندکی جابه‌جا شود از وضعیت اولیه‌ی خودش دورتر شود. شکل ۴-۱۶ ب نمونه‌ای از تعادل ناپایدار است که در آن گلوله پس از اندکی جابه‌جا شدن، از وضعیت اولیه‌ی خود دورتر می‌شود.

### پ) تعادل بی تفاوت

جسمی در تعادل بی تفاوت است که هرگاه جابه‌جا شود در وضعیت جدید خود باقی بماند. شکل ۴-۱۶ پ نمونه‌ای از تعادل بی تفاوت است که با غلتاندن گلوله، در وضعیت جدیدی قرار می‌گیرد و نه به وضعیت اولیه باز می‌گردد و نه بیش از آن می‌غلتد.

## ..... فعالیت ۳-۴

با ساختن وسایل مختلفی می توان تعادل پایدار اجسام را نشان داد. در شکل ۴-۱۷ دو نمونه از این گونه وسایل نشان داده شده است. سعی کنید به طور فردی یا گروهی این وسایل را بسازید و در کلاس درس به نمایش بگذارید.



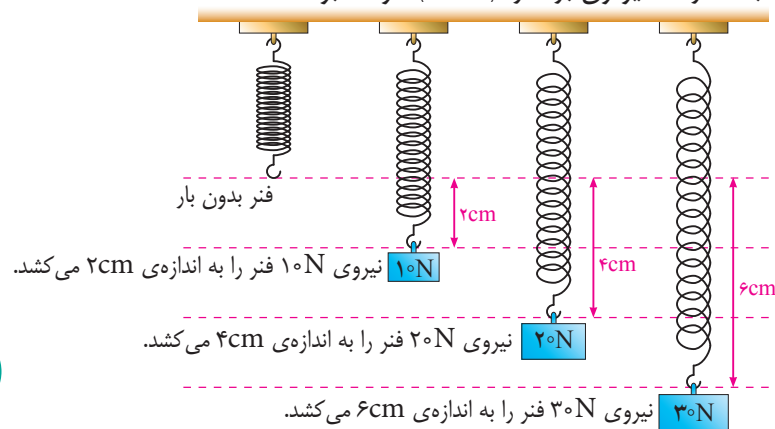
شکل ۴-۱۷

## ۴-۴ نیروهای کشسانی

هرگاه نیرویی روی یک فنر اعمال کنیم، شکل آن تغییر می کند و ممکن است کشیده یا فشرده شود. اگر نیروی بزرگ تری اعمال کنیم، بیش تر کشیده یا فشرده می شود. وقتی به فنر نیرویی وارد نکنیم، فنر به وضعیت اولیه ی خود باز می گردد. به این خاصیت فنر، خاصیت کشسانی گفته می شود و نیرویی که سبب می شود تا فنر را به وضعیت اولیه ی خود برگرداند، نیروی کشسانی می نامند. برای نخستین بار دانشمندی به نام رابرت هوک کشف کرد که تغییر طول (مقدار کشیدگی یا فشرده گی) با اندازه ی نیروی وارد شده (مشروط بر آن که نیرو خیلی بزرگ نباشد) متناسب است. اگر مقدار نیروی وارد شده دو برابر شود، تغییر طول نیز دو برابر می شود (شکل ۴-۱۸). چنان که اندازه ی نیروی وارد بر فنر را با نماد  $F$  و اندازه ی تغییر طول را با نماد  $x$  نشان دهیم، رابطه ی زیر بین آن ها برقرار است

$$F = kx$$

که در آن ضریب  $k$ ، ثابت نیروی فنر یا به اختصار ثابت فنر نام دارد. ثابت نیروی فنر از مشخصه های فنر و معیاری از سفتی آن است. اگر نیروی  $F$  بر حسب نیوتون (N) و  $x$  بر حسب متر (m) بیان شود یکای ثابت فنر  $k$ ، نیوتون بر متر ( $\text{Nm}^{-1}$ ) خواهد بود.



شکل ۴-۱۸

### رابرت هوک (۱۶۳۵-۱۷۰۳)

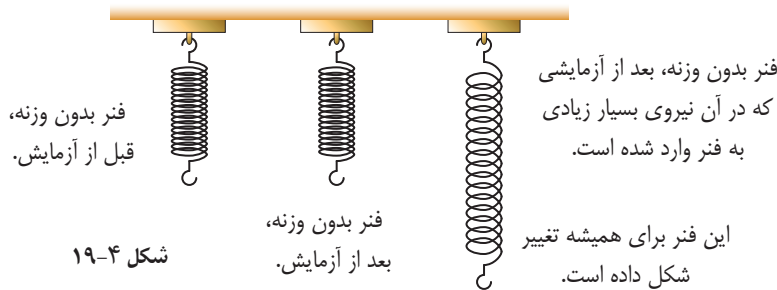
یکی از بزرگ ترین دانشمندان انگلیسی، نخستین کسی بود که نظریه ی موجی نور را مطرح و سلول را توصیف کرد (به همین دلیل به پدر میکروسکوپی معروف شد). او به عنوان فیزیکدان با رابرت بویل و دیگر فیزیکدانان زمان خود همکاری کرد و به عنوان رئیس انجمن سلطنتی برگزیده شد. پس از درگذشت او، نیوتون رئیس انجمن سلطنتی شد و گفته می شود از روی حسادت هر چیز مربوط به هوک را که می توانست از بین برد. اکنون، هیچ نقاشی یا تصویری از هوک باقی نمانده است.

### شبیه سازی



● بررسی قانون هوک

هرگاه فنری پس از حذف نیروی وارد شده به آن به حالت اولیه‌ی خود باز گردد گفته می‌شود که فنر از قانون هوک پیروی می‌کند. در صورتی که نیروی بسیار بزرگی به یک فنر وارد شود، فنر دیگر از قانون هوک پیروی نمی‌کند و برای همیشه تغییر شکل می‌دهد به طوری که حتی با حذف نیروی وارد شده نیز، به حالت اصلی خود باز نمی‌گردد (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۱۹

### بیشتر بدانید



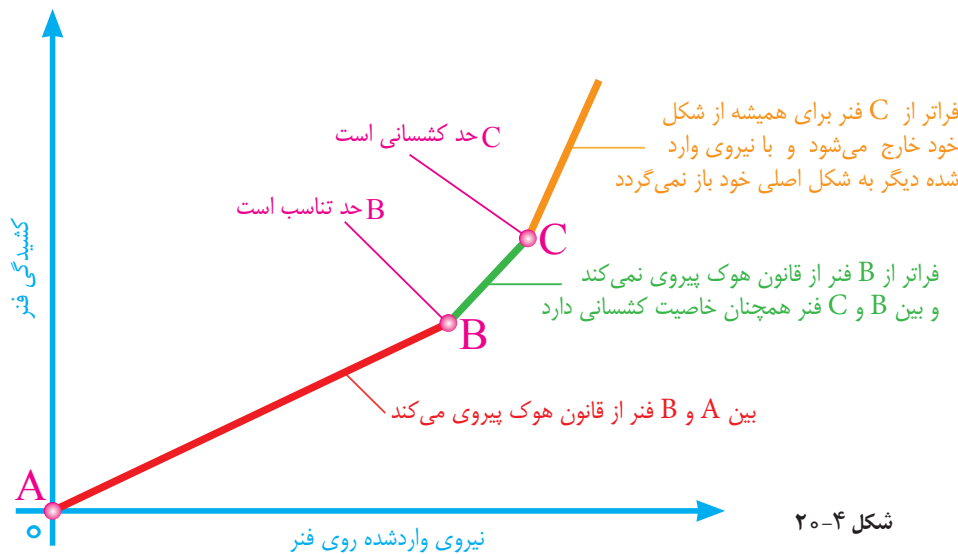
کشش و تراکم

بیشینه نیرویی که باید روی یک فنر وارد شود حد تناسب نامیده می‌شود. افزایش بیش‌تر این نیرو بدان معناست که فنر از قانون هوک پیروی نمی‌کند و وقتی همه‌ی نیروهای وارد شده روی فنر حذف شوند، فنر به شکل اصلی‌اش باز نمی‌گردد. پس از حد تناسب، حد کشسانی نیز وجود دارد. بین این دو حد هرچند فنر از قانون هوک پیروی نمی‌کند ولی پس از حذف نیروی وارد شده، همچنان خاصیت کشسانی دارد و تقریباً می‌تواند به حالت اولیه‌ی خود باز گردد (شکل ۴-۲۰).

### شبیه‌سازی



سامانه‌ی جرم و فنر



شکل ۴-۲۰

## مثال ۴-۵

ثابت یک فنر  $2000 \text{ Nm}^{-1}$  و طول آن  $14 \text{ cm}$  است. فنر را از یک نقطه آویزان می‌کنیم و به انتهای آن وزنه‌ی  $100$  نیوتونی می‌آویزیم. با فرض این‌که فنر از قانون هوک پیروی می‌کند طول آن چند سانتی‌متر خواهد شد؟



**حل:** با استفاده از قانون هوک، ابتدا تغییر طول فنر را پیدا می کنیم

$$F = kx$$

$$100\text{ N} = (2000\text{ Nm}^{-1}) x \Rightarrow x = \frac{1}{20}\text{ m} = 5\text{ cm}$$

چون طول اولیه ی فنر ۱۴cm بوده است، بنابراین پس از آویزان کردن وزنه به انتهای آن، طول فنر به ۱۹cm می رسد.

#### فعالیت عملی



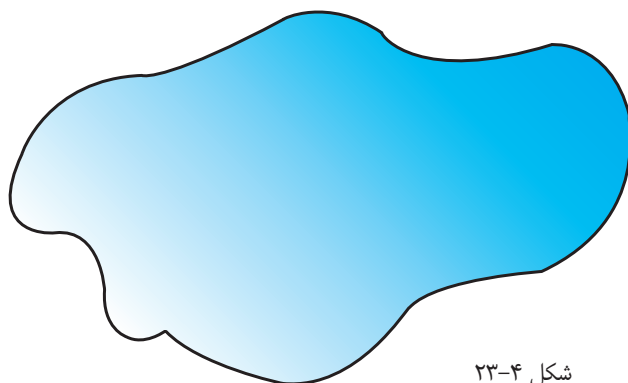
● ساخت نیرو سنج

## پرسش‌های مفهومی

۱- توضیح دهید کدام یک از آچارهای شکل ۲۱-۴ برای باز کردن یک پیچ خیلی سفت مناسب‌تر است.

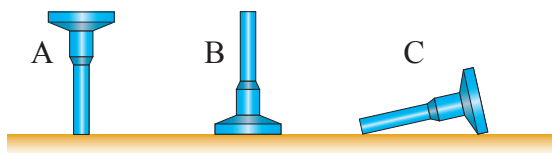
۲- با توجه به شکل ۲۲-۴ کدام محل را برای دسته‌ی در پیشنهاد می‌کنید! دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

۳- مقوایی به ابعاد  $۱۵\text{cm} \times ۲۰\text{cm}$  را به شکل دلخواهی، مانند شکل ۲۳-۴ ببرید و مرکز گرانش آن را به کمک آزمایش پیدا کنید.



شکل ۲۳-۴

۴- شکل ۲۴-۴ جسمی را در سه وضعیت مختلف نشان می‌دهد. نوع تعادل جسم را در هر وضعیت با ذکر دلیل مشخص کنید.

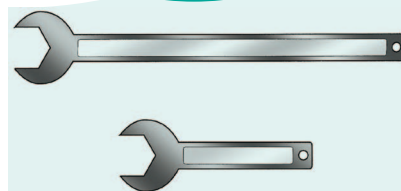


شکل ۲۴-۴

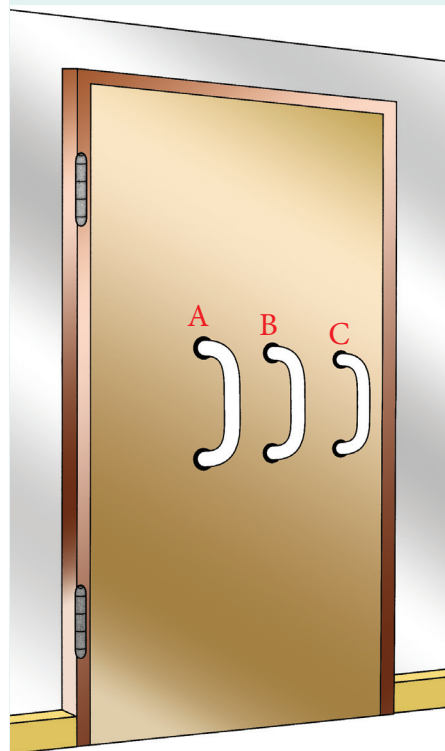
۵- خودروهای با ارتفاع زیاد، مانند شکل ۲۵-۴ که به اندازه‌ی کافی پایدار نیستند، می‌توانند عامل برخی از تصادف‌های جاده‌ای باشند. با این که شرکت‌های سازنده‌ی این خودروها، توجه خاصی نسبت به پایداری آن‌ها دارند، اما شرایط توفانی و بارگیری نادرست، می‌تواند پایداری آن‌ها را تا میزان خطرناکی کاهش دهد. الف) اگر چنین خودروهایی به اندازه‌ی کافی پایدار نباشند، چه مشکلی پیش می‌آید؟

ب) چرا پایداری آن‌ها به ویژه در شرایط توفانی مهم است؟

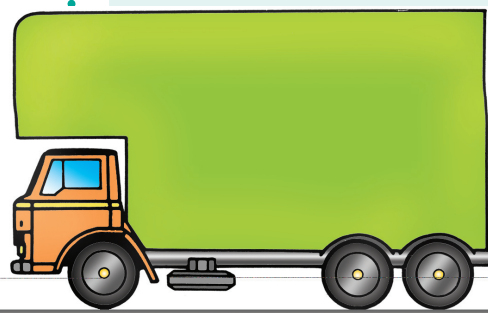
پ) چگونه بارگیری نادرست می‌تواند پایداری این گونه خودروها را کاهش دهد؟



شکل ۲۱-۴



شکل ۲۲-۴



شکل ۲۵-۴

افزایش طول (cm)	نیروی اعمالی (N)
۰	۰
۲/۰	۱۰
۴/۰	۲۰
۶/۰	۳۰
۹/۰	۴۰
۱۳/۰	۵۰
۱۸/۰	۶۰

۶- جدول روبه‌رو چگونگی افزایش طول فنری را با وارد کردن نیرو نشان می‌دهد که با انجام آزمایشی به دست آمده است.

(الف) نمودار افزایش طول - نیرو را با توجه به نتایج این جدول رسم کنید.

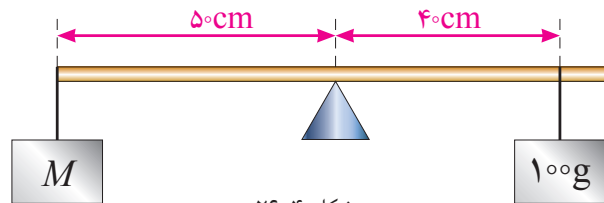
(ب) کدام قسمت از نمودار نشان می‌دهد که فنر از قانون هوک پیروی می‌کند؟

(پ) روی نمودار حد تناسب را علامت بزنید.

(ت) هرگاه در پایان آزمایش نیروی وارد شده روی فنر حذف شود، چه اتفاقی می‌افتد؟

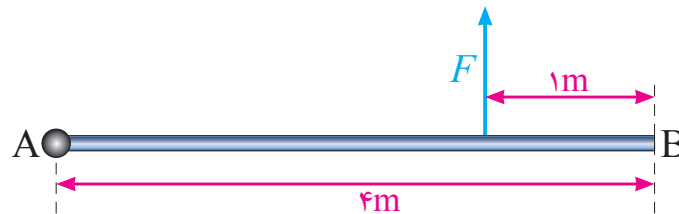
### مسئله‌ها

۱- خط‌کشی با جرم ناچیز به طول یک متر از وسط آن روی تکیه‌گاهی قرار دارد (شکل ۲۶-۴). اگر تعادل برقرار باشد، جرم  $M$  چقدر است؟



شکل ۲۶-۴

۲- میله‌ای یکنواخت به وزن  $30\text{ N}$  و طول  $4\text{ m}$  مطابق شکل ۲۷-۴ از نقطه‌ی A لولا شده است. اندازه‌ی نیروی عمودی  $F$  چقدر باشد تا میله به طور افقی در حال تعادل باشد؟



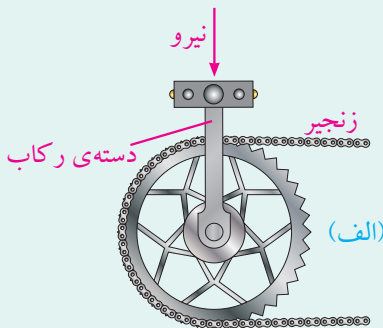
شکل ۲۷-۴

۳- شکل ۲۸-۴ سه وضعیت رکاب دوچرخه‌ای را نشان می‌دهد که طول دسته‌ی رکاب آن  $0.2\text{ m}$  است. در هر سه وضعیت نیروی قائم و رو به پایین یکسانی به بزرگی  $25\text{ N}$  توسط پای دوچرخه‌سوار به رکاب وارد می‌شود. هر کدام از اثرهای چرخشی زیر مربوط به کدام وضعیت رکاب است؟ برای پاسخ خود دلیل کافی بیاورید. (اشاره: مثال ۴-۱ را ببینید.)

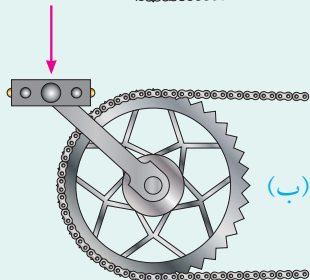
$$(i) \quad 25\text{ N} \times 0.2\text{ m} = 5\text{ N.m}$$

(ii) صفر،

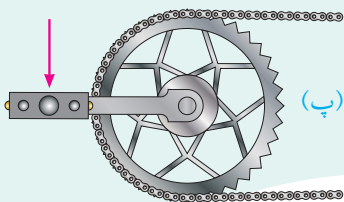
(iii) بین صفر و  $5\text{ N.m}$ .



(الف)



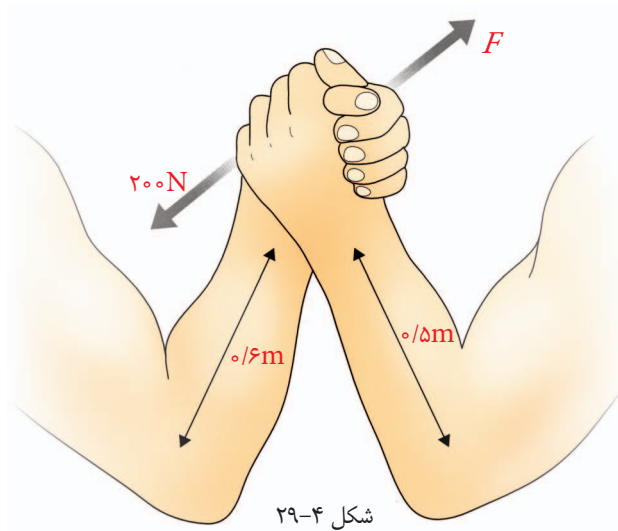
(ب)



(پ)

شکل ۲۸-۴

۴- اگر گشتاور ایجاد شده توسط بازوی هریک از این ورزشکارها در شکل ۴-۲۹ برابر باشد، مقدار نیروی  $F$  را حساب کنید.



۵- شکل ۴-۳۰ یک فنر فولادی را قبل از وارد کردن هرگونه نیرو و بعد از وصل وزنه‌ی ۳۰ نیوتونی نشان می‌دهد.

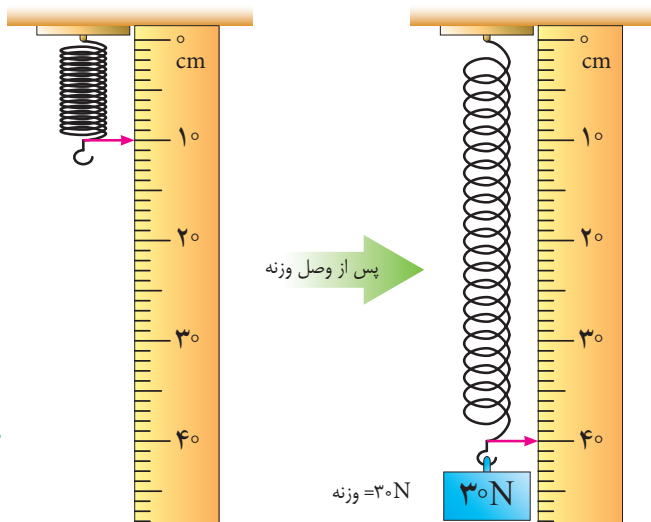
الف) افزایش طول فنر به ازای نیروی ۳۰ N چقدر است؟

ب) اگر فنر از قانون هوک پیروی کند، افزایش طول آن به ازای یک نیروی ۲۰ N چقدر خواهد بود؟

پ) اگر نیروی ۱۰ N به آن وارد شود، افزایش طول آن چقدر است؟

ت) اگر نیرویی بزرگ‌تر از حد کشسانی بر فنر وارد شود، چه اتفاقی برای آن می‌افتد؟

ث) نمودار افزایش طول بر حسب نیرو را برای فنری که فراتر از حد کشسانی خود کشیده شده است، رسم کنید.



در کدام قسمت از مسیر انرژی جنبشی  
دستگاه پشته و انرژی پتانسیل گرانشی  
آن کمینه است؟





## سیمای فصل

۵-۱ کار

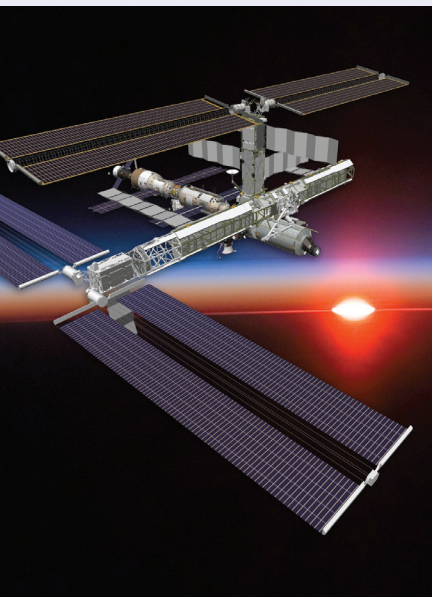
۵-۲ کار و انرژی جنبشی

۵-۳ پایداری انرژی مکانیکی

۵-۴ توان

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



شکل ۵-۱

## کار و انرژی

پیشرفت و بقای تمدن بشری بر پایه‌ی دستیابی به انرژی و مصرف ثمربخش آن استوار است. یکی از هدف‌های بنیادی فیزیک نیز مطالعه و بررسی انرژی است که همواره درباره‌ی آن حرف می‌زنیم.

پرواز در آسمان و بر فراز دریاها، بالا بردن وسایل به طبقه‌ی فوقانی یک ساختمان، فرستادن ماهواره به مدار خاصی دور زمین، پرتاب کردن توپ بازی، فرستادن انسان به ایستگاه بین‌المللی فضایی و ... نمونه‌هایی از حرکت هستند که به انرژی نیازمندند (شکل ۵-۱). دست یافتن به منابع انرژی از ضروری‌ترین نیازهای هر کشور است و همین موضوع ملت‌هایی را وارد جنگ کرده است. جنگ‌هایی هم بوده‌اند که در نتیجه‌ی کاربرد ناگهانی و بی‌امان انرژی، از سوی یکی از طرف‌های درگیر، به پایان رسیده‌اند. در علوم دوره‌ی راهنمایی و همچنین درس فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم انرژی و انواع آن آشنا شدیم. همچنین دیدیم که انرژی می‌تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل شود و در حین این تبدیل مقدار آن پایسته بماند. در این فصل علاوه بر این که با تفصیل بیشتری درباره‌ی انرژی بحث خواهیم کرد با مفهوم کار و ارتباط آن با انرژی آشنا می‌شویم.



## ۵-۱ کار

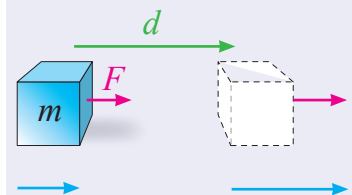
واژه‌ی کار در فیزیک تعریف دقیقی دارد و با آنچه معمولاً در گفتگوهای روزمره از آن استفاده می‌کنیم متفاوت است. اگر مطابق شکل ۵-۲ نیروی ثابتی به بزرگی  $F$  در امتداد افق به جسمی وارد شود و آن را به اندازه‌ی  $d$  جابه‌جا کند، بنا بر تعریف، کار نیروی ثابت  $F$  با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$W = Fd$$

یکای کار نیوتون متر ( $N \cdot m$ ) است که ژول ( $J$ ) نامیده می‌شود. به این ترتیب اگر نیرویی به بزرگی  $1N$  جسمی را به اندازه‌ی  $1m$  در امتداد نیرو جابه‌جا کند، کار انجام شده برابر  $1J$  است

### پرسش ۵-۱

توضیح دهید کار کمیتی نرده‌ای است یا برداری.



شکل ۵-۲ نیروی ثابت  $F$  جسمی را به اندازه‌ی  $d$  در جهت نیرو جابه‌جا کرده است. کار انجام شده توسط این نیرو برابر  $W = Fd$  است.

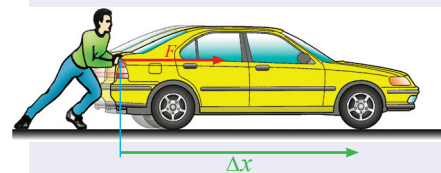
### مثال ۵-۱

شکل ۵-۳ شخصی را نشان می‌دهد که در حال هل دادن یک اتومبیل در جاده‌ای مستقیم است. اگر بزرگی نیروی افقی لازم برای غلبه بر اصطکاک و تداوم حرکت آن  $750N$  باشد، چقدر کار باید توسط این شخص انجام شود تا اتومبیل  $20m$  جابه‌جا شود؟

**حل:** بزرگی نیروی وارد شده،  $F = 750N$  و بزرگی جابه‌جایی در جهت نیرو  $d = 20m$  است. با توجه به تعریف کار برای نیروی ثابت داریم

$$W = Fd = (750N)(20m) = 15000N \cdot m = 15000J$$

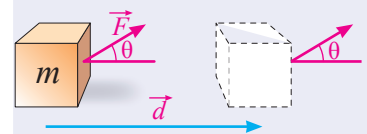
برای سادگی می‌توانید نتیجه‌ی حاصل را بر حسب کیلوژول ( $kJ$ ) به صورت  $15kJ$  نیز بنویسید.



شکل ۵-۳

در صورتی که مطابق شکل ۵-۴ نیروی وارد شده به جسم با امتداد جابه‌جایی جسم زاویه‌ی  $\theta$  بسازد، کار نیروی ثابت  $F$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W = Fd \cos \theta$$



شکل ۵-۴ راستای نیروی ثابت  $F$  با جابه‌جایی  $d$  زاویه‌ی  $\theta$  می‌سازد.

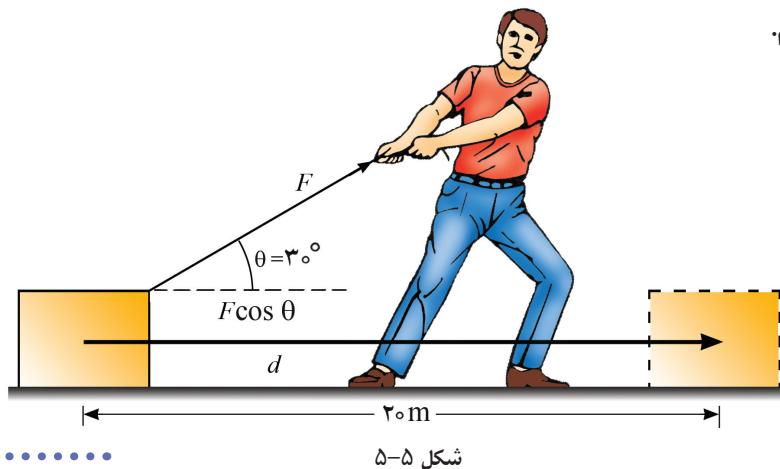
## ..... مثال ۵-۲

شکل ۵-۵ شخصی را نشان می‌دهد که با نیروی ثابت  $200\text{ N}$  در حال کشیدن جسمی روی یک سطح افقی است. کار انجام شده پس از جابه‌جایی جسم به اندازه‌ی  $7\text{ m}$  چقدر است؟

**حل:** بزرگی نیروی ثابت وارد شده به جسم  $F = 200\text{ N}$ ، جابه‌جایی جسم  $d = 7\text{ m}$  و زاویه‌ای که راستای نیرو با امتداد جابه‌جایی جسم می‌سازد  $\theta = 30^\circ$  است. پس داریم

$$W = Fd \cos \theta = (200\text{ N})(7\text{ m})(\cos 30^\circ) = 700\sqrt{3}\text{ J}$$

با توجه به این که  $\sqrt{3} \approx 1.7$  است، پاسخ نهایی را می‌توانیم به صورت  $W \approx 1190\text{ J}$  بنویسیم.



شکل ۵-۵



جیمز ژول (۱۸۱۸-۱۸۸۹) فیزیکدان انگلیسی که نشان داد گرما صورتی از انرژی است. یکای انرژی در SI به افتخار فعالیت‌های او ژول (J) است.

## ..... تمرین ۵-۱

همان‌طور که از فصل سوم فرا گرفته‌ایم نیروی وزن  $\vec{W}$  و نیروی عمودی تکیه‌گاه  $\vec{N}$  بر جسم شکل ۵-۵ وارد می‌شود. در حین جابه‌جایی جسم در امتداد افق، کار انجام شده توسط هر یک از این دو نیرو چقدر است؟

در مواردی که بیش از یک نیروی ثابت به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار انجام شده توسط هریک از نیروها را به طور جداگانه به دست آورد. در مثال ۵-۳ این موضوع برای جسمی به جرم  $m$  که دو نیروی ثابت به طور همزمان به آن وارد می‌شود بررسی شده است.

## ..... مثال ۵-۳

جسمی به جرم  $m = 2\text{ kg}$  را مطابق شکل ۵-۶ با نیروی ثابت و رو به بالای  $F$  و با حرکت یکنواخت  $1/2\text{ m}$  بالا می‌بریم. با فرض این که  $g = 10\text{ N/kg}$  است،

الف) کار هریک از نیروهای وارد شده به جسم را به طور جداگانه حساب کنید.  
ب) کار برابند نیروهای وارد بر جسم را به دست آورید.

**حل:** با توجه به این که جسم به طور یکنواخت رو به بالا حرکت می کند، از فصل سوم می دانیم که باید برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد. به عبارت دیگر باید بزرگی نیروی رو به بالای  $\vec{F}$  با بزرگی وزن جسم که به طرف پایین بر آن وارد می شود یکسان باشد. یعنی،  $F=W$ . از آنجا که وزن جسم  $W=mg=(2\text{ kg})(10\text{ N/kg})=20\text{ N}$  است، داریم  $F=20\text{ N}$ .  
الف) ابتدا کار نیروی ثابت  $\vec{F}$  را پیدا می کنیم. چون جابه جایی جسم در جهت نیروی  $\vec{F}$  است ( $\theta = 0^\circ$ )، کار انجام شده توسط این نیرو برابر است با:

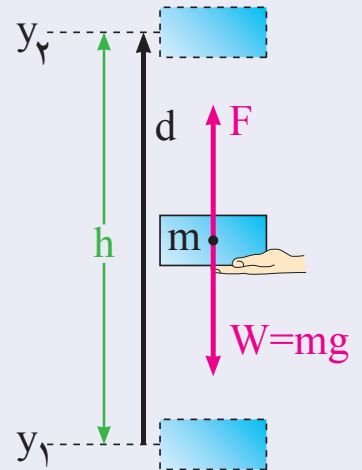
$$W = Fd \cos \theta = (20\text{ N})(1/2\text{ m})(\cos 0^\circ) = 20\text{ J}$$

توجه کنید  $\cos 0^\circ = 1$ .

از آنجا که نیروی وزن بر خلاف جهت جابه جایی جسم است ( $\theta = 180^\circ$ )، کار انجام شده توسط نیروی وزن برابر است با:

$$W = Fd \cos \theta = (20\text{ N})(1/2\text{ m})(\cos 180^\circ) = -20\text{ J}$$

ب) با توجه به شکل ۵-۶ دو نیرو بر جسم وارد شده است، نیروی  $\vec{F}$  رو به بالا و نیروی وزن  $\vec{W}$  رو به پایین. چون بزرگی این دو نیرو یکسان است، برآیند آن ها صفر خواهد شد. بنابراین کار برآیند این دو نیرو نیز صفر می شود (چرا؟).



شکل ۵-۶ جسمی را به طور یکنواخت در راستای قائم جابه جا می کنیم.

## ۵-۲ کار و انرژی جنبشی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی متناظر با حالت حرکت جسم، انرژی جنبشی نامیده می شود و مقدار آن برای جسمی که در حال سکون باشد، صفر است. برای جسمی به جرم  $m$  که با سرعت  $v$  در حرکت است، داریم:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

### مثال ۵-۴

اتومبیلی به جرم  $1200\text{ kg}$  که با سرعت  $15\text{ m/s}$  در حرکت است با قرمز شدن چراغ به آرامی ترمز می کند و پس از طی مسافتی متوقف می شود (شکل ۵-۷). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل را در این دو وضعیت پیدا کنید.

**حل:** سرعت اتومبیل در وضعیت اول  $v_1 = 15\text{ m/s}$  و در وضعیت دوم که به حال سکون در می آید  $v_2 = 0$  است.

بنابراین انرژی جنبشی اتومبیل در این دو وضعیت برابر است با:

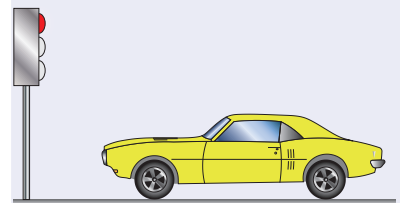
$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(1200\text{ kg})(15\text{ m/s})^2 = 135000\text{ J}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(1200\text{ kg})(0)^2 = 0$$

### شبیه سازی



• کار نیروی ثابت



شکل ۵-۷ اتومبیلی با قرمز شدن چراغ متوقف می شود.

اگر تغییر انرژی جنبشی اتومبیل را به صورت  $\Delta K = K_f - K_i$  نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\Delta K = 0 - 135000 \text{ J} = -135000 \text{ J}$$

علامت منفی نشان می‌دهد انرژی جنبشی اتومبیل کاهش یافته است.

### بیش تر بدانید



- انرژی و فناوری
- مقایسه‌ی انرژی جنبشی و تکانه

### پرسش ۵-۲

روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام مختلف در اطراف خود هستیم. مثال‌هایی را در این مورد به کلاس ارایه دهید.

بین کار و تغییر انرژی جنبشی یک جسم رابطه‌ای وجود دارد که به آن **قضیه‌ی کار - انرژی** گفته می‌شود. بنابراین قضیه، کار برآیند نیروهای وارد بر یک جسم در یک جابه‌جایی معین برابر است با **تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی**. به عبارت دیگر، اگر انرژی جنبشی جسمی در دو وضعیت متفاوت به ترتیب  $K_i$  و  $K_f$  باشد، داریم:

$$W = K_f - K_i$$

که در آن  $W$  کار برآیند نیروهای وارد بر جسم است.

با توجه به رابطه‌ی بالامی‌توان دریافت که انرژی جنبشی اجسام چگونه تغییر می‌کند. اگر کار برآیند نیروهای وارد بر جسمی مثبت باشد،  $K_f > K_i$  است و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. اگر کار برآیند نیروهای وارد بر جسمی منفی باشد،  $K_f < K_i$  است و انرژی جنبشی آن کاهش می‌یابد. سرانجام اگر کار برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد،  $K_f = K_i$  است و انرژی جنبشی آن تغییر نمی‌کند.

### مثال ۵-۵

توپ‌ی به جرم  $500 \text{ g}$  را از ارتفاع  $2 \text{ m}$  متری سطح زمین رها می‌کنیم (شکل ۵-۸) با استفاده از قضیه‌ی کار - انرژی، انرژی جنبشی توپ را وقتی به زمین می‌رسد پیدا کنید. مقاومت هوا را نادیده بگیرید و شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  فرض کنید.

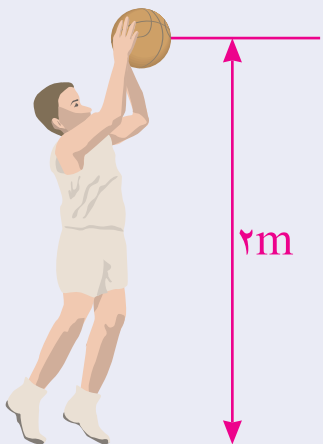
**حل:** در این مثال تنها نیروی وزن بر جسم وارد می‌شود. کار این نیرو برابر است با:

$$\begin{aligned} W &= Fd \cos\theta = mgh \cos 0^\circ \\ &= (0.5 \text{ kg})(2 \text{ m})(10 \text{ N/kg})(1) = 10 \text{ J} \end{aligned}$$

چون توپ از ارتفاع  $2 \text{ m}$  متری رها شده است، انرژی جنبشی اولیه‌ی آن صفر است. بنا بر قضیه‌ی کار - انرژی داریم:

$$W = K_f - K_i$$

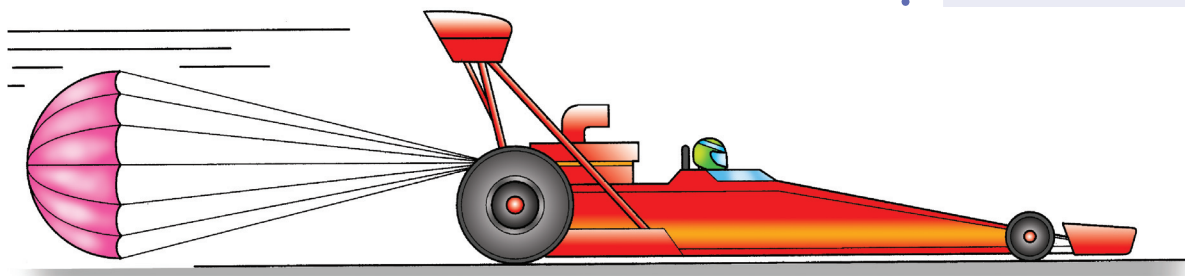
$$10 \text{ J} = K_f - 0 \Rightarrow K_f = 10 \text{ J}$$



شکل ۵-۸ انرژی جنبشی توپ در لحظه‌ی رها شدن صفر است.

### مثال ۵-۴

یک اتومبیل مسابقه‌ای به جرم  $600 \text{ kg}$  با سرعت  $288 \text{ km/h}$  در حرکت است. این اتومبیل برای توقف سریع علاوه بر ترمز کردن از چتری که در پشت آن قرار دارد استفاده می‌کند (شکل ۵-۹). کار نیروهایی را که سبب توقف سریع اتومبیل می‌شوند پیدا کنید.



شکل ۵-۹

**حل:** سرعت اتومبیل قبل از ترمز گرفتن برابر است با

$$v_1 = 288 \text{ km/h} = 288 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 80 \text{ m/s}$$

در نتیجه انرژی جنبشی آن در این وضعیت برابر است با

$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} (600 \text{ kg}) (80 \text{ m/s})^2 = 1920000 \text{ J}$$

وقتی اتومبیل ترمز می‌گیرد نیروی اصطکاک از طرف زمین به آن وارد می‌شود. همچنین وقتی چترش را باز می‌کند نیروی مقاومت هوا افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر نیروی اصطکاک و نیروی مقاومت هوا بر خلاف جهت حرکت اتومبیل بر آن وارد و سبب توقف سریع اتومبیل مسابقه‌ای می‌شوند. اگر کار این دو نیروی مقاوم در برابر حرکت را با  $W_f$  نشان دهیم، کار برابند نیروهای وارد بر اتومبیل برابر است با

$$W = W_f + W_N + W_{mg} \quad (\text{کار برابند نیروها})$$

که در آن  $W_N$  کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و  $W_{mg}$  کار نیروی وزن اتومبیل است. چون نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن عمود بر راستای جابه‌جایی اتومبیل‌اند، کار ناشی از آن‌ها صفر است (چرا؟). بنابراین با توجه به قضیه‌ی کار - انرژی داریم

$$W = K_f - K_1 \quad \text{و} \quad W = W_f + 0 + 0 \Rightarrow W_f = K_f - K_1$$

$$W_f = 0 - 1920000 \text{ J} = -1920 \text{ kJ}$$

علامت منفی نشان می‌دهد کار نیروهای مقاوم سبب کاهش انرژی جنبشی جسم می‌شوند.

## تمرین ۵-۲

بازیکنی توپ فوتبالی به جرم  $450\text{ گرم}$  را از نقطه‌ی پناستی با سرعت  $18\text{ m/s}$  به طرف دروازه شوت و توپ با سرعت  $15\text{ m/s}$  به دست‌های دروازه‌بان برخورد می‌کند. اگر سرعت توپ تنها به دلیل مقاومت هوا کاهش یافته باشد، کار انجام شده برای غلبه بر نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

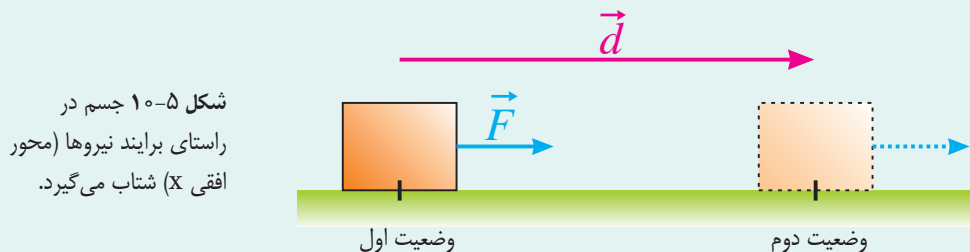
## مطالعه‌ی آزاد

## اثبات قضیه کار-انرژی

برای اثبات قضیه‌ی کار-انرژی، جسمی به جرم  $m$  را مطابق شکل ۵-۱ در نظر بگیرید که بر ایند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر  $\vec{F}$  است. اگر جسم تحت‌تأثیر این نیرو به اندازه‌ی  $d$  جابه‌جا شود، کار انجام شده برابر است با

$$W = Fd$$

چون  $F$  بزرگی بر ایند نیروهای وارد بر جسم است، از قانون دوم نیوتون داریم



شکل ۵-۱ جسم در راستای بر ایند نیروها (محور افقی  $X$ ) شتاب می‌گیرد.

$$F = ma \quad (1)$$

چون بر اثر اعمال نیروی ثابت  $F$ ، جسم با شتاب ثابت  $a$  حرکت می‌کند، بنابراین پس از جابه‌جایی  $d$ ، سرعت آن از مقدار  $v_1$  (در وضعیت اول) به مقدار  $v_2$  (در وضعیت دوم) می‌رسد. به این ترتیب با توجه به معادله‌های حرکت با شتاب ثابت که در فصل دوم آشنا شدیم، داریم

$$v_2^2 - v_1^2 = 2ad$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \quad (2)$$

یا

با قرار دادن رابطه‌ی (۲) در رابطه‌ی (۱) داریم

$$F = m \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \right)$$

$$Fd = \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 \Rightarrow W = K_2 - K_1$$

یا

عبارت بالا همان رابطه‌ی مربوط به قضیه‌ی کار-انرژی است، یعنی  $W = K_2 - K_1$ .



## ۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی ای است که جسم به علت ارتفاعش از سطح زمین دارد. یعنی اگر جسمی مطابق شکل ۵-۱۱ در ارتفاع  $h$  از سطح زمین باشد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی است که با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$U = mgh$$

هنگامی که جسم از ارتفاع  $h$  رها می‌شود، انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی آن در حین سقوط تغییر می‌کند. در حین سقوط، انرژی پتانسیل گرانشی جسم کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد ولی مجموع این دو انرژی (در صورت نادیده گرفتن اثر مقاومت هوا) در هر لحظه پایسته (ثابت) می‌ماند.

مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل انرژی مکانیکی نامیده می‌شود. این انرژی را معمولاً با  $E$  نمایش می‌دهند. بنابراین داریم

$$E = K + U$$

به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که در نبود مقاومت هوا انرژی مکانیکی یک جسم در حین سقوط آزاد پایسته است.

شکل ۵-۱۱ هر جسمی به دلیل ارتفاعش از سطح زمین دارای انرژی پتانسیل گرانشی است.



### مثال ۵-۷

از ارتفاع ۴ متری سطح زمین گلوله‌ای را در شرایط خلأ با سرعت  $10 \text{ m/s}$  به طرف بالا

پرتاب می‌کنیم (شکل ۵-۱۲) با فرض  $g = 10 \text{ N/kg}$ ، مطلوب است

(الف) بیش‌ترین ارتفاع گلوله نسبت به سطح زمین،

(ب) بزرگی سرعت گلوله هنگام برخورد به سطح زمین.

**حل:** در لحظه‌ی پرتاب گلوله، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن به ترتیب برابر  $K_1$  و

$U_1$  است. هنگامی که گلوله به بیش‌ترین ارتفاع از سطح زمین می‌رسد، سرعت آن صفر و

در نتیجه  $K_2 = 0$  است. اگر انرژی پتانسیل گلوله را در ارتفاع بیشینه با  $U_2$  نشان دهیم، چون

انرژی مکانیکی گلوله پایسته است (چرا؟)، داریم

$$E_1 = E_2$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

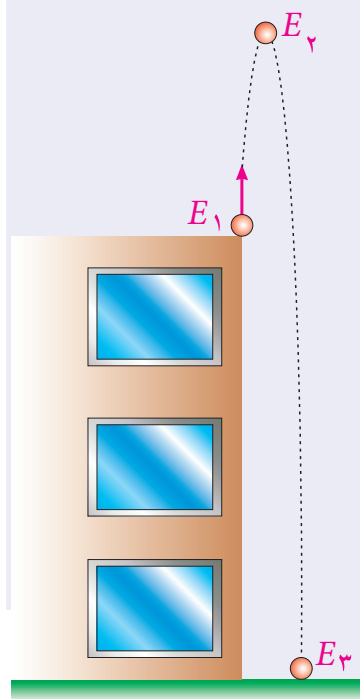
$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = 0 + mgh_2$$

با حذف جرم  $m$  از دو طرف معادله داریم

$$\frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = 0 + gh_2$$

$$\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s})^2 + (10 \text{ N/kg}) (4 \text{ m}) = (10 \text{ N/kg}) h_2$$

$$\Rightarrow h_2 = 9 \text{ m}$$



شکل ۵-۱۲

بیش تر بدانید

منابع انرژی

شبیه سازی و فعالیت عملی

تغییر انرژی مکانیکی توپ در حال سقوط هنگام برخورد به سطوح مختلف

ب) هنگام برخورد گلوله به سطح زمین، انرژی پتانسیل آن صفر خواهد شد، یعنی  $U_p = 0$ . بنابراین

$$E_1 = E_2$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + 0$$

با حذف جرم  $m$  از دو طرف معادله داریم

$$\frac{1}{2} v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s})^2 + (10 \text{ N/kg}) (4 \text{ m}) = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$\Rightarrow v_2 = \sqrt{180} \text{ m/s} \approx 13.4 \text{ m/s}$$

مثال ۵-۸

جسمی را از ارتفاع  $h$  نسبت به سطح زمین در شرایط خلأ رها می کنیم. نمودار تغییرات انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی مکانیکی مربوط به یک جسم در حال سقوط را بر حسب ارتفاع آن رسم کنید.

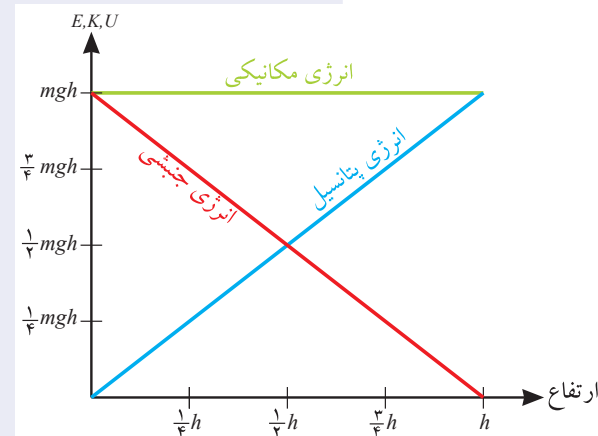
**حل:** انرژی پتانسیل جسم در حال سقوط به صورت رابطه  $U = mgh$  بر حسب ارتفاع تغییر می کند (خط آبی در نمودار شکل ۵-۱۳). با توجه به این که انرژی مکانیکی جسم در حین سقوط پایسته می ماند داریم

$$K + U = E \Rightarrow K = E - mgh$$

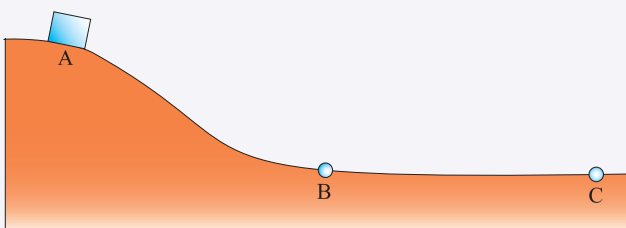
بنابراین نمودار انرژی جنبشی جسم در حال سقوط بر حسب ارتفاع به صورت خط قرمز در نمودار شکل ۵-۱۳ است. توجه کنید انرژی مکانیکی جسم پایسته و مقدار آن همواره برابر  $mgh$  است. (رنگ سبز در نمودار شکل ۵-۱۳)

تمرین ۵-۳

جسمی به جرم  $200 \text{ گرم}$  از نقطه  $A$  که  $2 \text{ متر}$  بالاتر از نقطه های  $B$  و  $C$  است از حال سکون شروع به حرکت می کند (شکل ۵-۱۴). مسیر  $AB$  بدون اصطکاک است و در مسیر  $BC$  حدود  $20 \text{ درصد}$  انرژی جسم صرف غلبه بر اصطکاک می شود. با استفاده از قانون پایستگی انرژی، سرعت جسم را در هر یک از نقطه های  $B$  و  $C$  پیدا کنید.



شکل ۵-۱۳



شکل ۵-۱۴

## ۵-۴ توان

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر ماشین، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا کار معینی را انجام دهد. برای مثال هرچه موتور یک اتومبیل قوی‌تر باشد راحت‌تر و سریع‌تر می‌تواند از تپه‌ای بالا رود. بنابراین توان یک ماشین را به صورت مقدار کاری که ماشین در یک مدت معین می‌تواند انجام دهد تعریف می‌کنیم. به عبارت دیگر توان ( $P$ ) برابر نسبت کار انجام شده ( $W$ ) به زمان انجام کار ( $t$ ) است. یعنی:

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{یا} \quad \text{توان} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{زمان انجام کار}}$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه ( $J/s$ ) است که به دلیل اصلاح و تکمیل ماشین بخار توسط جیمز وات دانشمند اسکاتلندی در قرن هجدهم، وات ( $W$ ) نامیده می‌شود.



شکل ۵-۱۶ جیمز وات (۱۸۱۶ - ۱۷۳۶) دانشمند اسکاتلندی، با وجود این که زندگی اش با فقر و تهیدستی قرین بود، توانست ماشین بخاری بسازد که بازده و سرعت عمل خوبی داشت. واحد توان در SI به احترام او وات ( $W$ ) نامیده می‌شود.

### ..... مثال ۵-۹

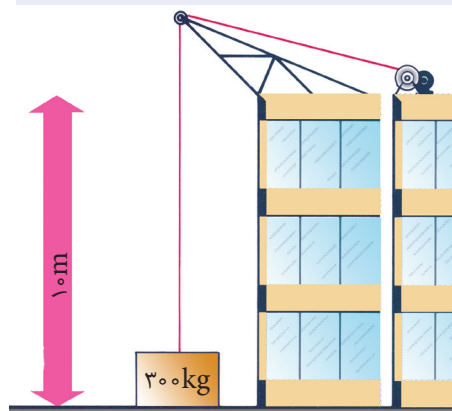
از یک بالابر برقی برای بالا کشیدن باری به جرم  $300 \text{ kg}$  تا بالای ساختمانی به ارتفاع  $10 \text{ m}$  استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۵). اگر  $15$  ثانیه طول بکشد تا این بار با سرعت ثابت به بالای ساختمان منتقل شود، توان بالابر چقدر است؟ (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

**حل:** کاری که بالابر انجام می‌دهد تا بار را به بالای ساختمان منتقل کند به صورت انرژی پتانسیل در آن ذخیره می‌شود. بنابراین کار انجام شده توسط بالابر برابر است با

$$W = mgh = (300 \text{ kg})(10 \text{ N/kg})(10 \text{ m}) = 3 \times 10^4 \text{ J}$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3 \times 10^4 \text{ J}}{15 \text{ s}} = 2000 \text{ W}$$

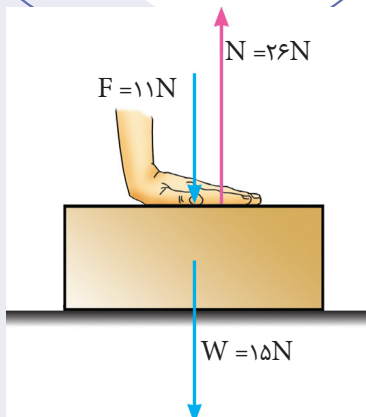


شکل ۵-۱۵

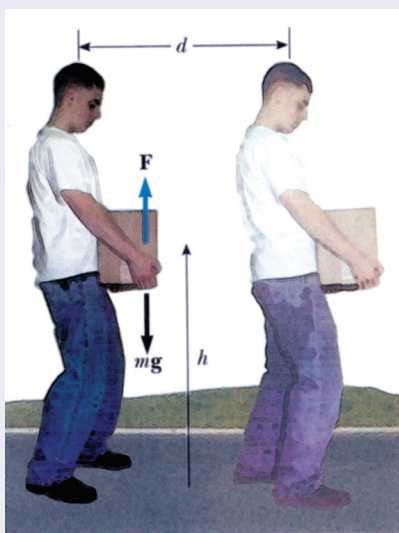
### ..... تمرین ۵-۴

یک تلمبه‌ی برقی با توان  $1500$  وات در چه مدت  $2000$  لیتر آب را از چاهی به عمق  $25$  متر به سطح زمین منتقل می‌کند؟ توجه کنید جرم هر لیتر آب برابر  $1 \text{ kg}$  است. (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

## پرسش‌های مفهومی



شکل ۵-۱۶



شکل ۵-۱۷

۱- جعبه‌ای را مطابق شکل ۵-۱۶ با نیروی قائم  $F$  می‌فشاریم. کار انجام شده توسط هریک از نیروهای نشان داده شده چقدر است؟ توضیح دهید.

۲- شخصی مطابق شکل ۵-۱۷ جعبه‌ای به جرم  $m$  را به آرامی تا ارتفاع  $h$  بالا می‌آورد و سپس به آرامی به اندازه‌ی  $d$  جابه‌جا می‌شود. در حین جابه‌جایی شخص، کار انجام شده توسط هریک از نیروهای وارد شده به جسم چقدر است؟ توضیح دهید.

۳- در کدام یک از موارد زیر کار انجام می‌شود؟ برای پاسخ خود دلیل کافی بیاورید.  
(الف) دوچرخه‌سواری در طول یک خیابان رکاب می‌زند.

(ب) اتومبیلی ترمز می‌کند و پس از مقداری لغزیدن متوقف می‌شود.

(پ) یک موتور الکتریکی باری را از روی زمین بلند می‌کند.

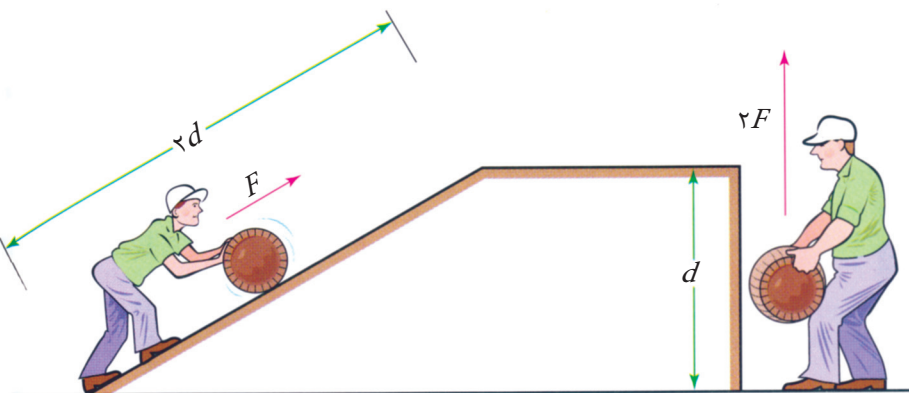
(ت) یک آهنربا، تکه‌ای کاغذ را روی درب یخچال نگه داشته است.

۴- در شکل ۵-۱۸ نیروهایی که در امتداد جابه‌جایی یک اتومبیل مسابقه‌ای به آن وارد می‌شوند نشان داده شده‌اند. با ذکر دلیل نوع علامت کار انجام شده توسط هریک از این نیروها را تعیین کنید.



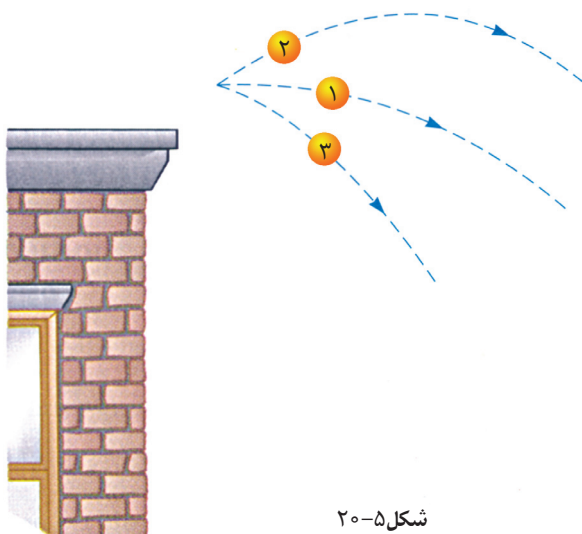
شکل ۵-۱۸

۵- به شکل ۱۹-۵ به دقت توجه کنید. برداشت خود را به کمک مفاهیمی که در این فصل یاد گرفته‌اید بیان کنید. در کدام حالت انرژی بیش‌تری برای انتقال جسم به محل مورد نظر مصرف می‌شود؟ مزیت هر روش را بیان کنید.



شکل ۱۹-۵

۶- سه گلوله‌ی مشابه از بالای ساختمانی با سرعت یکسان در سه جهت مختلف پرتاب می‌شوند (شکل ۲۰-۵). در صورت نادیده گرفتن مقاومت هوا، سرعت گلوله‌ها را هنگام برخورد به زمین با یک‌دیگر مقایسه کنید. (اشاره: از پایستگی انرژی مکانیکی استفاده کنید.)



شکل ۲۰-۵

۷- دانش‌آموزی می‌گوید توان من بیش‌تر از توان دوستم است. منظور او از این گفته چیست؟

## مسئله‌ها

۱- در هریک از موارد زیر کار انجام شده را بر حسب ژول پیدا کنید.

الف) شخصی یک اتومبیل را با نیروی افقی  $700\text{ N}$  به اندازه‌ی  $10\text{ m}$  هل می‌دهد (شکل ۲۱-۵ الف).

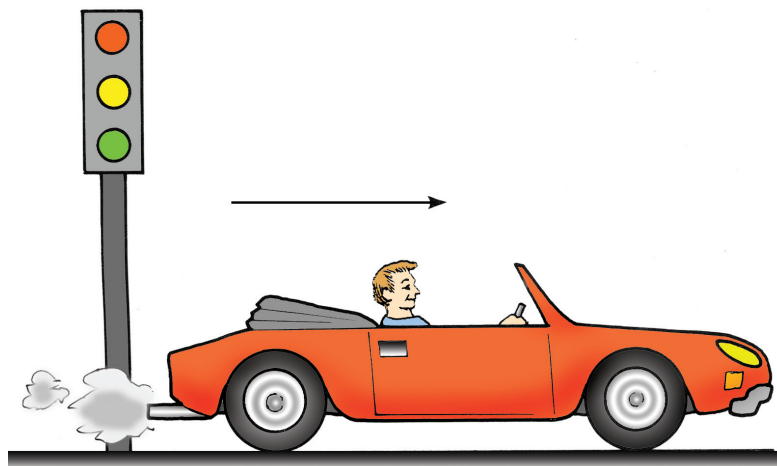
ب) شخصی چمدانی به جرم  $30\text{ kg}$  را به اندازه‌ی  $150\text{ cm}$  بالا می‌برد تا روی باربند اتومبیلی قرار دهد (شکل ۲۱-۵ ب).



شکل ۲۱-۵

۲- وزنه‌برداری وزنه‌ی  $265\text{ kg}$  را بالای سر خود می‌برد. اگر بیش‌ترین ارتفاع وزنه از سطح زمین به  $1/9\text{ m}$  رسیده باشد، در این عمل چقدر کار انجام شده است؟ اگر او وزنه را  $4\text{ s}$  در بالای سر نگه داشته باشد، چند ژول دیگر کار انجام شده است؟ توضیح دهید.

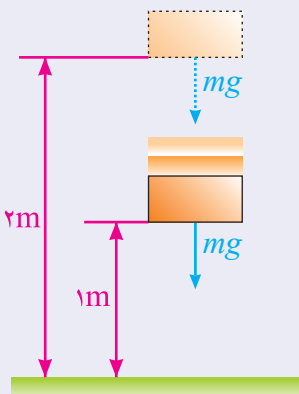
۳- اتومبیلی به جرم  $1000\text{ kg}$  با شتاب ثابت  $2\text{ m/s}^2$  از حال سکون در امتداد خط راستی به حرکت در می‌آید (شکل ۲۲-۵). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل در دو ثانیه‌ی شروع حرکت چقدر است؟



شکل ۲۲-۵

۴- جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  از ارتفاع  $2$  متری سطح زمین رها می‌شود (شکل ۲۳-۵). انرژی‌های جنبشی، پتانسیل و مکانیکی را در میانه‌ی راه پیدا کنید. (شتاب گرانش را  $10\text{ N/kg}$  و مقاومت هوا را نادیده بگیرید).

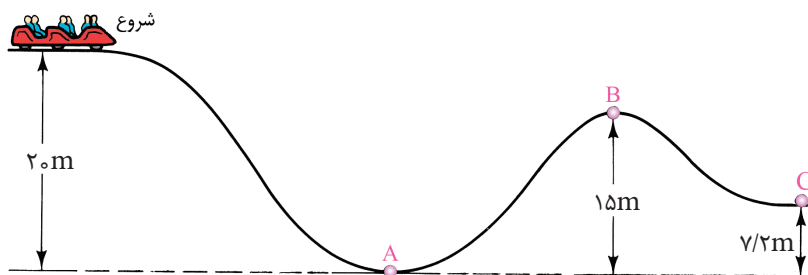
۵- یک واگن تفریحی به جرم کل  $500\text{ kg}$  از ارتفاع  $20$  متری سطح زمین روی خط آهن ویژه‌ی شروع به حرکت می‌کند (شکل ۲۴-۵). سرعت واگن را در هریک از نقطه‌های A،



شکل ۲۳-۵

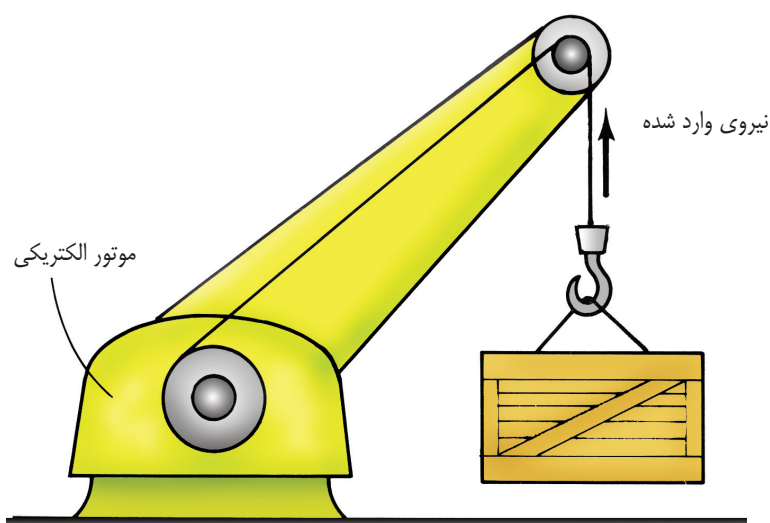


B, C، پیدا کنید. (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  و اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر نادیده بگیرید.)



شکل ۲۴-۵

۶- یک موتور الکتریکی می‌تواند جعبه‌ای به جرم  $2 \text{ تن}$  را در مدت  $30$  ثانیه به اندازه  $5$  متر بالا ببرد (شکل ۲۵-۵). توان این موتور الکتریکی چقدر است؟



شکل ۲۵-۵



## چگالی و فشار

آیا انجام این کار روی زمین نیز  
امکان پذیر است؟



## سیمای فصل

۱-۶ چگالی

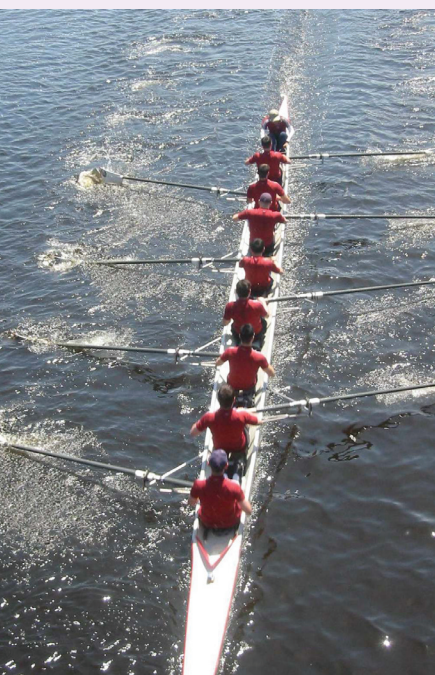
۲-۶ نیرو و فشار

۳-۶ فشار در مایع‌ها و گازها

۴-۶ اصل ارشمیدس و شناوری

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



## چگالی و فشار

چرا شخصی که چوب اسکی به پا دارد، کم تر در برف فرو می رود؟ چرا در قله های مرتفع کوه ها، نفس کشیدن دشوارتر است؟ چرا هنگامی که به جاهای عمیق تر استخر می رویم احساس فشار بیش تری روی گوش های خود می کنیم ؟ چرا جابه جایی جسم های سنگین درون آب راحت تر است؟ چه عاملی سبب شناور شدن کشتی های فولادی کوچک و بزرگ روی آب می شود؟  
در این فصل با برخی از ویژگی های مهم ماده آشنا خواهیم شد که ما را قادر می سازد به پرسش هایی از قبیل آنچه ذکر شد با دقت علمی خوبی پاسخ دهیم.



## ۱-۶ چگالی

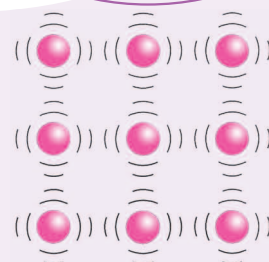
یکی از ویژگی‌های اصلی هر ماده در همه‌ی حالت‌ها (جامد، مایع و گاز) چگالی است. چگالی نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی ماده تا چه حد فشرده‌اند (شکل ۱-۶). نسبت جرم به حجم هر جسمی را چگالی آن جسم می‌نامند و آن را با حرف یونانی  $\rho$  (بخوانید رُ) نشان می‌دهند.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{یا} \quad \rho = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$$

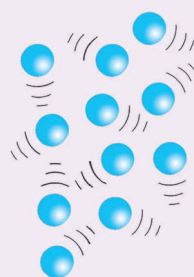
یکای چگالی در SI با توجه به تعریف بالا کیلوگرم بر متر مکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) است. در جدول ۱-۶ چگالی چند ماده‌ی مختلف داده شده است.

جدول ۱-۶ چگالی چند ماده‌ی مختلف در دمای  $^{\circ}\text{C}$  و فشار جوّی ( $1\text{atm}$ )

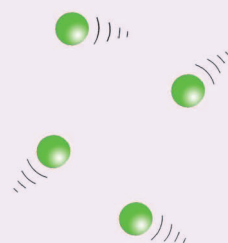
ماده	حالت	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )
یخ	جامد	۹۲۰
چوب پنبه	جامد	۲۵۰
چوب	جامد	۶۵۰
فولاد	جامد	۷۹۰۰
آلومینیوم	جامد	۲۷۰۰
مس	جامد	۸۹۴۰
طلا	جامد	۱۹۳۲۰
نقره	جامد	۱۰۵۰۰
روی	جامد	۶۹۰۰
سرب	جامد	۱۱۳۵۰
جیوه	مایع	۱۳۶۰۰
آب ( $4^{\circ}\text{C}$ )	مایع	۱۰۰۰
روغن ذرت	مایع	۹۰۰
الکل	مایع	۸۰۰
هوا	گاز	۱/۲۹
اکسیژن	گاز	۱/۴۳
کربن دی‌اکسید	گاز	۱/۹۸
هیدروژن	گاز	۰/۰۸۹



(الف) ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی جسم جامد در جای خود تقریباً ثابت‌اند و به طور بسیار کمی نوسان می‌کنند.



(ب) ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی مایع آزادانه حرکت می‌کنند و روی یک‌دیگر می‌لغزند.



(پ) ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی گازها با سرعت زیادی به اطراف حرکت می‌کنند.

شکل ۱-۶

### فعالیت عملی



اندازه‌گیری چگالی چند جسم مختلف

### آزمایشگاه مجازی



چگالی

## بیش تر بدانید



- آشنایی با جامدها
- مدلی ساده برای جسم جامد
- فازهای ماده



ابوریحان محمد ابن احمد بیرونی (۳۵۱ شمسی - ۴۲۵ شمسی)، دانشمند برجسته‌ی ایرانی در حومه‌ی شهرکات، پایتخت خوارزمشاهیان، به دنیا آمد و تا سن ۲۵ سالگی در زادگاه خود مشغول فراگیری علوم مختلفی بود. با توجه به اطلاعات به دست آمده، تعداد آثار ابوریحان بیرونی شامل تالیف‌ها، ترجمه‌ها و آثار نیمه تمام او به ۱۸۰ عنوان می‌رسد که دست کم ۱۱۵ عنوان از آن‌ها به ریاضیات و نجوم اختصاص داشته و از این تعداد تنها ۲۸ عنوان به دست ما رسیده است.

بیرونی در کتاب «افراد المقال فی امر الظال» یکی از نظریه‌های مشهور ارسطو را با تکیه بر آزمایش رد می‌کند. نکته مهم و مورد توجه در آزمایش‌های بیرونی، شیوه‌ی علمی او در انجام دادن آزمایش‌هاست. وی هم چون یک پژوهشگر امروزی در آزمایش خود به نکاتی توجه می‌کند؛ از جمله: هنگام مقایسه‌ی خاصیتی ویژه از دو ماده می‌کوشد تا سایر شرایط برای آن‌ها یکسان باشد و نیز به تکرار در آزمایش تاکید می‌کند تا مطمئن شود نتایج حاصل از فرایند اتفاقی نیست.

«سایه‌ها» یکی از مهم‌ترین آثار بیرونی است که در آن به شرح موضوع‌هایی در زمینه‌ی ریاضیات می‌پردازد. بیرونی هم‌چنین مقاله‌هایی در مورد زمین‌پیمایی و جغرافیا دارد. او شیوه‌های اندازه‌گیری قطر زمین و فاصله‌ی روی آن را از طریق مثلث بندی معرفی کرده است.

## پرسش ۱-۴

آیا می‌توانید بین شکل ۱-۶ و مقادارهای جدول ۱-۶ ارتباط معناداری برقرار کنید. شرح دهید.

## مثال ۱-۴

جرم یک مجسمه‌ی نقره ۴۲۰ گرم است. حجم این مجسمه چقدر است؟

**حل:** با توجه به تعریف چگالی داریم

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

با جای گذاری چگالی نقره از جدول ۱-۶ ( $\rho = 10500 \text{ kg/m}^3$ ) و جرم مجسمه از صورت

مسئله ( $m = 420 \text{ g} = 0.42 \text{ kg}$ ) در رابطه‌ی بالا داریم

$$10500 \text{ kg/m}^3 = \frac{0.42 \text{ kg}}{V} \Rightarrow V = \frac{0.42 \text{ kg}}{10500 \text{ kg/m}^3} = 4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

از آنجا که  $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$  است داریم  $V = 40 \text{ cm}^3$ .

## مثال ۲-۴

طول، عرض، و ارتفاع اتاقی به ترتیب ۴m، ۳m و ۳m است. جرم و وزن هوای درون این

اتاق در یک روز نسبتاً سرد زمستانی (دمای هوا  $0^\circ \text{C}$ ) چقدر است؟

**حل:** از آنجا که هوا تمام حجم اتاق را اشغال می‌کند، حجم هوا با حجم اتاق برابر است.

بنابراین با توجه به تعریف حجم مکعب مستطیل،  $V=abc$ ، داریم:

$$V = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 36 \text{ m}^3$$

همچنین از جدول ۱-۶ چگالی هوا برابر  $1/29 \text{ kg/m}^3$  است. پس:

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

$$\Rightarrow m = (1/29 \text{ kg/m}^3) (36 \text{ m}^3) = 30/96 \text{ kg}$$

با توجه به تعریف وزن یک جسم،  $W=mg$ ، داریم:

$$W = mg = (30/96 \text{ kg}) (10 \text{ N/kg}) = 309/6 \text{ N}$$

## مثال ۳-۴

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

**حل:** با توجه به این که هر یک متر مکعب ( $1 \text{ m}^3$ ) معادل هزار لیتر ( $10^3 \text{ lit}$ ) است، داریم

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ lit} \quad \text{یا} \quad 1 \text{ lit} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

بنابراین با توجه به تعریف چگالی و جدول ۱-۶ می‌توان نوشت

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

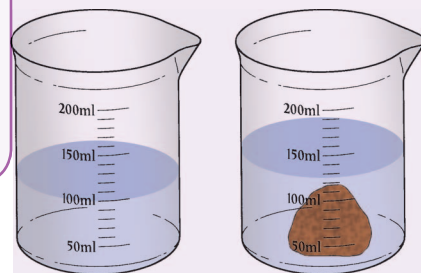
$$\Rightarrow m = (1000 \text{ kg/m}^3) (10^{-3} \text{ m}^3) = 1 \text{ kg}$$

به عبارت دیگر جرم هر لیتر آب برابر  $1 \text{ kg}$  است.



### تمرین ۱-۷

هنگامی که سنگ کوچکی را درون یک استوانه‌ی مدرج محتوی آب می‌اندازیم حجم آب درون استوانه حدود ۲۵mlit افزایش می‌یابد (شکل ۶-۲). اگر جرم سنگ ۹۰ گرم باشد، چگالی آن چقدر است؟  
(هر میلی‌لیتر برابر  $10^{-6} m^3$ ) است.



شکل ۶-۲

### فعالیت ۱-۷

روشی برای اندازه‌گیری حجم پارچ شیشه‌ای شکل ۶-۳ پیشنهاد کنید.

### ۶-۲ نیرو و فشار

در فصل سوم با اثر نیرو روی یک جسم (که به صورت ذره فرض می‌شد) آشنا شدیم و به کمک قانون‌های نیوتون رفتار جسم را بررسی کردیم. در این بخش اثر نیرو بر روی یک سطح بررسی خواهد شد. به این منظور شخصی را در نظر بگیرید که با کفش روی برف ایستاده و مقداری در آن فرو رفته است، ولی همان شخص اگر چوب اسکی به پا داشته باشد، کم‌تر در برف فرو می‌رود (شکل ۶-۴). علت چیست؟



شکل ۶-۳



شکل ۶-۴

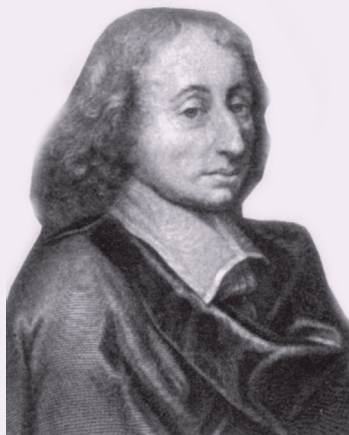
روشن است که در هر دو حالت وزن شخص تغییری نکرده است بلکه سطح تماس پاهای او با برف تغییر کرده است. در حالتی که شخص چوب اسکی به پا دارد نیرویی که بر سطح زمین وارد می‌کند در سطح بیش‌تری توزیع می‌شود و در نتیجه کم‌تر در برف فرو رفته است. برای بررسی دقیق‌تر این موضوع کمیتی به نام فشار را به صورت زیر تعریف می‌کنیم

$$\text{فشار} = \frac{\text{بزرگی نیروی عمود بر سطح}}{\text{مساحت سطح}}$$

### شبیه‌سازی



● مفهوم فشار و آثار آن



بلز پاسکال (۱۶۲۳ - ۱۶۶۲) ریاضیدان، فیزیکدان و فیلسوف فرانسوی که در نوزده سالگی توانست اولین ماشین حساب مکانیکی را اختراع کند. پاسکال با وجود این که فقط ۳۹ سال زندگی کرد، خدمات زیادی به علم ریاضی و فیزیک نمود. یکای فشار در SI به افتخار او پاسکال (Pa) است.

اگر فشار را با  $p$ ، نیرو را با  $F$  و مساحت سطح را با  $A$  نشان دهیم، خواهیم داشت

$$p = \frac{F}{A}$$

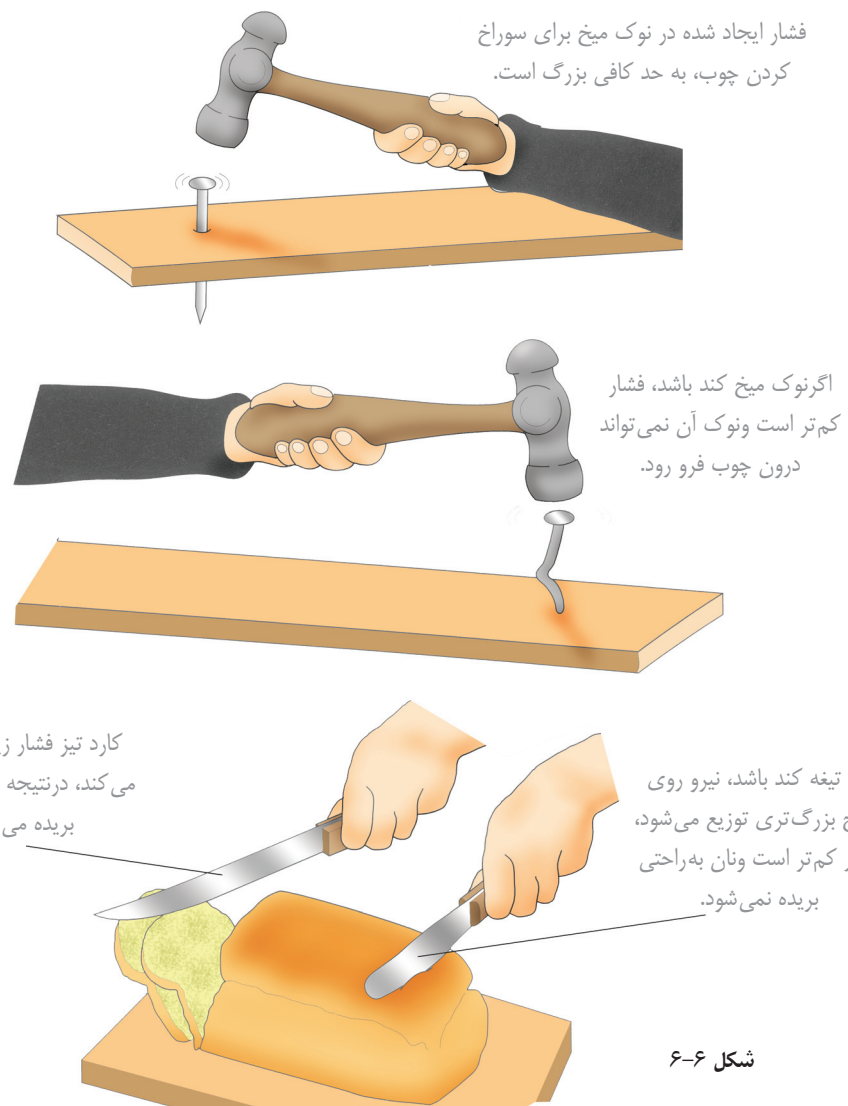
یکای فشار در SI نیوتون بر متر مربع ( $N/m^2$ ) است که پاسکال (Pa) نامیده می‌شود.

از رابطه‌ی  $p = F/A$  نتیجه می‌شود که هرگاه نیروی  $F$  ثابت بماند و سطح  $A$  تغییر کند، فشار  $p$

نیز تغییر می‌کند (شکل ۵-۶).



در شکل ۶-۶ مثال‌های دیگری از تأثیر افزایش یا کاهش فشار دیده می‌شود.



### مثال ۴-۷

یک قطعه‌ی مکعبی شکل به وزن  $200\text{ N}$  را در دو وضعیت مختلف روی سطح زمین قرار می‌دهیم (شکل ۷-۶). فشار وارد شده به سطح را در هر حالت پیدا کنید.

**حل:** نیروی  $200\text{ N}$  که در هر دو شکل (الف) و (ب) نشان داده شده است نیروی وزن جسم است که بزرگی آن با بزرگی نیروی عمود بر سطح برابر است (چرا؟). بنابراین در حالت (الف) داریم

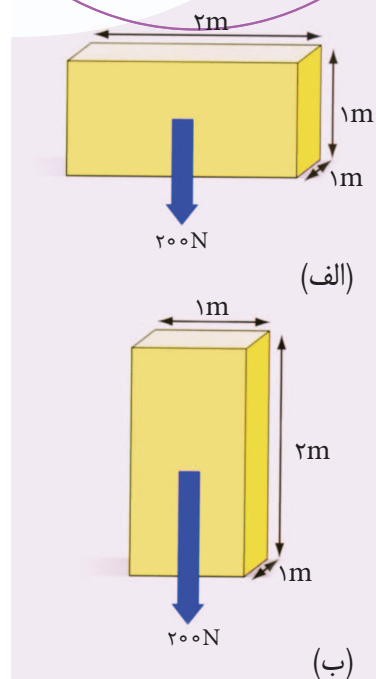
$$F = 200\text{ N} \quad , \quad A = 1\text{ m} \times 2\text{ m} = 2\text{ m}^2$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{200\text{ N}}{2\text{ m}^2} = 100\text{ Pa}$$

و در حالت (ب) داریم

$$F = 200\text{ N} \quad , \quad A = 1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^2$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{200\text{ N}}{1\text{ m}^2} = 200\text{ Pa}$$



شکل ۷-۶

### مثال ۵-۷

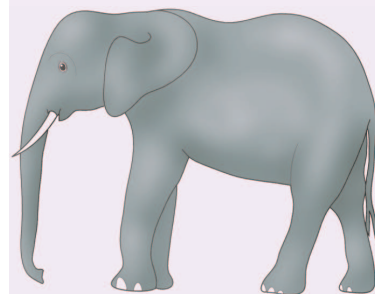
وزن فیل  $20000\text{ N}$  و مساحت سطح هر پای آن  $0.25\text{ m}^2$  است (شکل ۸-۶). فشاری که از طرف فیل بر سطح زمین وارد می‌شود چقدر است؟

**حل:** چون فیل روی چهار پای خود ایستاده است، داریم

$$A = 4 \times 0.25\text{ m}^2 = 1\text{ m}^2$$

بنابراین با توجه به تعریف فشار داریم

$$p = \frac{F}{A} = \frac{20000\text{ N}}{1\text{ m}^2} = 20000\text{ Pa}$$



شکل ۸-۶

### تمرین ۲-۷

وزن اسکی بازی  $750\text{ N}$  و فشاری که از طرف او بر سطح زمینی وارد می‌شود  $3000\text{ Pa}$  است (شکل ۹-۶). مساحت سطح هر چوب اسکی چقدر است؟



شکل ۹-۶

## ۳-۶ فشار در مایع‌ها و گازها

**فشار در مایع‌ها:** هنگامی که دست خود را جلوی آبی که از شیلنگ بیرون می‌ریزد بگیریم، می‌توانیم فشار آب را احساس کنیم (شکل ۶-۱۰). همچنین وقتی قسمتی از دست ما بریده شود خون از محل بریده شده بیرون می‌آید که ناشی از فشار خون است. یا هنگامی که به ناحیه‌ی عمیق یک استخر آب می‌رویم، فشار آب را به خوبی احساس می‌کنیم. در این بخش خواهیم دید فشار یک مایع به چه عواملی بستگی دارد و چگونه می‌توان آن را اندازه گرفت.

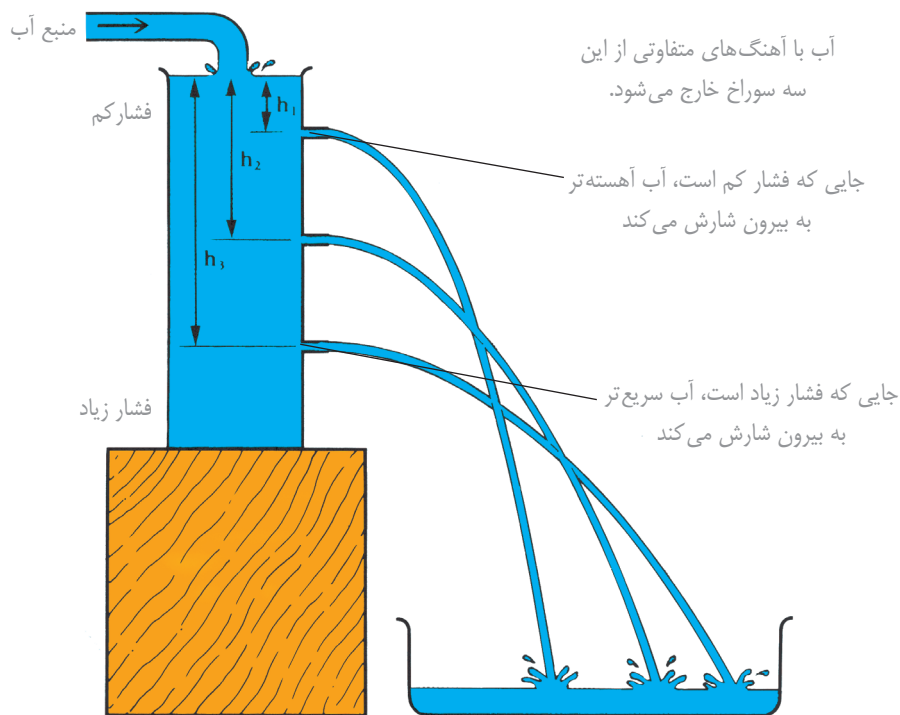
در شکل ۶-۱۱ ستونی از یک مایع به ارتفاع  $h$ ، مساحت قاعده‌ی  $A$ ، و چگالی  $\rho$  نشان داده شده است. نیرویی که به مساحت قاعده‌ی این ستون وارد می‌شود معادل وزن ستون مایع و برابر است با

$$W = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

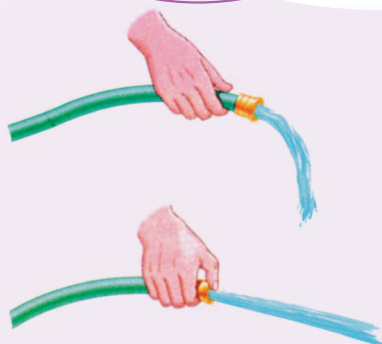
با توجه به تعریف فشار داریم

$$p = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh$$

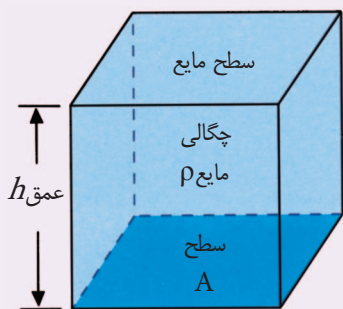
به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که فشار ناشی از یک مایع ساکن تنها به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و فشار در نقطه‌های هم عمق یکسان است (شکل ۶-۱۲) و هرچه درون مایعی پایین‌تر رویم فشار ناشی از مایع افزایش می‌یابد (شکل ۶-۱۳).



شکل ۶-۱۳ این آزمایش ساده به روشنی نشان می‌دهد که فشار در مایع با بیش‌تر شدن عمق، افزایش می‌یابد.



شکل ۶-۱۰



شکل ۶-۱۱



شکل ۶-۱۲ سوراخ‌های ایجاد شده در این ظرف در عمق یکسانی از سطح مایع قرار دارند و در نتیجه آب با آهنگ یکسانی از آن‌ها خارج می‌شود.

## شبیه‌سازی



● فشار در مایع‌ها

### مثال ۴-۴

ارتفاع سطح آب درون مخزن شکل ۶-۱۴ نسبت به شیر آب ۳m است. فشار ناشی از آب در سر شیر چقدر است؟

**حل:** با توجه به رابطه‌ی فشار در مایع‌ها داریم

$$p = \rho gh = (1000 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ N/kg}) (3 \text{ m}) = 29400 \text{ Pa}$$

### تمرین ۴-۳

فشار ناشی از آب در کف یک استخر آب به عمق ۴m چقدر است؟

### مطالعه‌ی آزاد

کاربرد فشار ناشی از یک مایع

مایع‌ها می‌توانند برای انتقال نیرو در یک فاصله‌ی مشخص مورد استفاده قرار گیرند. مایع‌ها همچنین می‌توانند بزرگی این نیرو را تغییر دهند. ماشین یا دستگاهی که قادر به انجام چنین کاری باشد، ماشین هیدرولیک یا دستگاه هیدرولیک نامیده می‌شود.

وقتی دسته به پایین فشار داده می‌شود  
نیروی به یک استوانه کوچک وارد می‌کند.

نیرو منتقل و اندازه آن زیاد شده است.

افزایش سطح بین  
دو پیستون، اندازه  
نیرو را در اینجا  
افزایش می‌دهد.

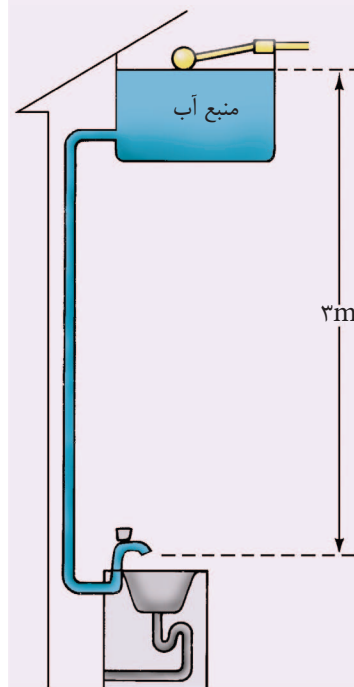
فشار ایجاد شده  
پیستون بزرگ را  
که پیستون فرعی  
نامیده می‌شود  
را به طرف بالا  
می‌راند.

فشاری درون مایع ایجاد می‌شود.

این استوانه پیستون اصلی  
نامیده می‌شود.  
پیستون اصلی سطح مایع  
را می‌فشارد.

شکل ۶-۱۵

شکل ۶-۱۵ یک بالابر هیدرولیک را نشان می‌دهد که می‌تواند برای بالا بردن جسم‌های خیلی سنگین، مانند اتومبیل‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. بالابر اندازه‌ی نیروی اعمال شده را افزایش



شکل ۶-۱۴

### بیش تر بدانید



رفتار مایع در یک ظرف

### شبیه‌سازی

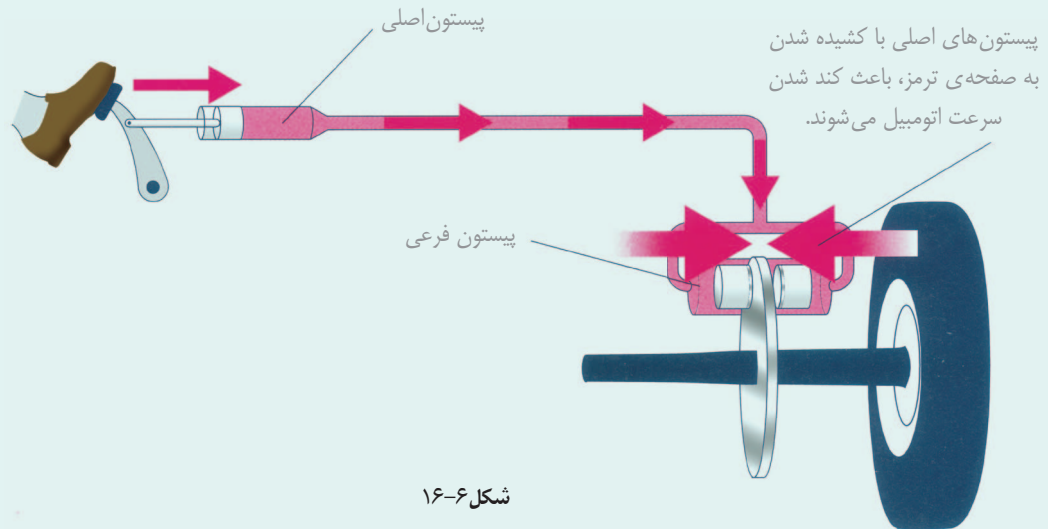


- رفتار مایع در چند ظرف مرتبط
- قانون پاسکال



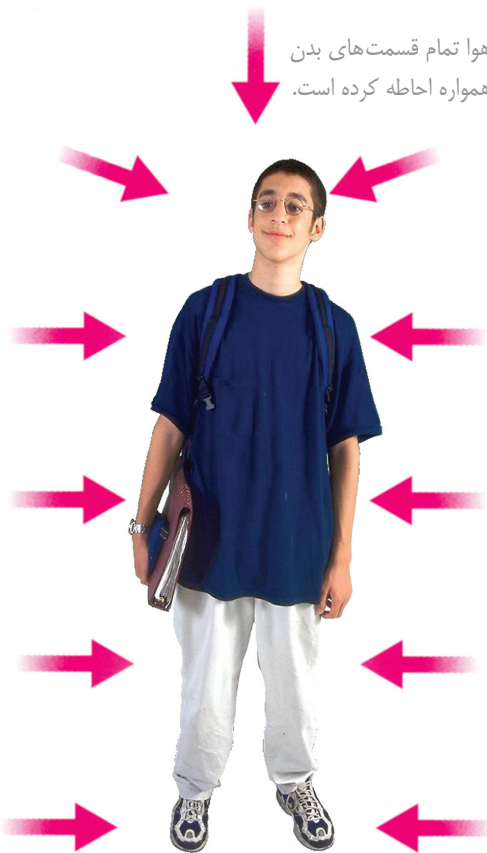
می‌دهد به همین جهت به آن چند برابر کننده‌ی نیرو نیز گفته می‌شود.

شکل ۱۶-۶ یکی دیگر از کاربردهای فشار ناشی از یک مایع را نشان می‌دهد که به آن ترمز هیدرولیک گفته می‌شود.



شکل ۱۶-۶

فشار هوا تمام قسمت‌های بدن ما را همواره احاطه کرده است.



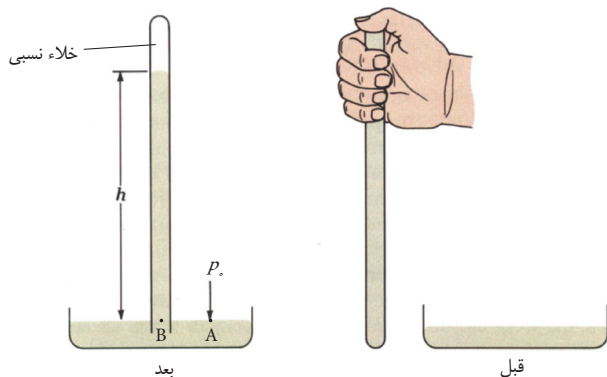
**فشار در گازها:** وقتی بادکنکی را باد می‌کنیم، هوایی که وارد بادکنک می‌شود از همه طرف به پوسته‌ی بادکنک فشار وارد می‌کند. اگر فشار هوای درون بادکنک از حد معینی زیادتر شود، بادکنک می‌ترکد. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که گازها، همچون مایع‌ها فشار وارد می‌کنند. رابطه‌ی  $p = \rho gh$  را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. یعنی فشار گاز درون یک ظرف را می‌توان با استفاده از این رابطه حساب کرد.

اطراف کره‌ی زمین هوا وجود دارد. هوا بر همه‌ی جسم‌ها فشار وارد می‌کند (شکل ۱۷-۶). یک روش معمول برای اندازه‌گیری فشار هوا، استفاده از جویسنج ساده‌ی جیوه‌ای است.

برای این منظور، یک لوله‌ی شیشه‌ای محکم به طول حدود ۸۰ cm تا ۱۰۰ cm را که یک سر آن بسته است از جیوه پر می‌کنیم به طوری که حباب‌های هوای درون لوله به طور کامل خارج شوند. پس از آن با انگشت، دهانه‌ی لوله را می‌بندیم و آن را واژگون می‌کنیم و به طور قائم درون یک ظرف محتوی جیوه می‌بریم. با برداشتن انگشت، مشاهده می‌کنیم سطح جیوه در لوله پایین می‌آید و در ارتفاع معینی ثابت می‌ماند (شکل ۱۸-۶).

شکل ۱۷-۶





شکل ۶-۱۸

از آنجا که فشار در نقطه‌های هم‌تراز از یک مایع با یکدیگر برابر است، بنابراین فشار در نقطه‌ی A و B یکسان است. چون فشار در نقطه‌ی A برابر فشار هواست، نتیجه می‌شود که فشار در نقطه‌ی B نیز برابر فشار هواست، یعنی

$$P_A = P_B = P_0$$

که در آن  $P_0$  نشان‌دهنده‌ی فشار هواست.

از سوی دیگر فشار در نقطه‌ی B برابر است با فشار ستون جیوه‌ای که در بالای آن قرار دارد. در نتیجه داریم

$$p_0 = \rho gh$$

که در آن  $\rho$  چگالی جیوه و  $h$  ارتفاع ستون جیوه است. با جای‌گذاری مقادیرهای مربوطه داریم

$$p_0 = (13600 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ N/kg}) (0.76 \text{ m})$$

$$= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

این فشار یک اتمسفر ( $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ ) نامیده می‌شود.

یعنی فشار هوا در سطح دریا تقریباً  $10^5 \text{ Pa}$  یا  $1 \text{ atm}$  است. معمولاً فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (میلی‌متر یا سانتی‌متر) بیان می‌کنند. تورپچلی برای نخستین بار با انجام آزمایش نشان داد فشار هوا در سطح دریا برابر  $760 \text{ mmHg}$  (بخوانید  $760$  میلی‌متر جیوه) یا  $76 \text{ cmHg}$  است.

### ..... مثال ۴-۷

اختلاف فشار هوا را در پایین و بالای اتاقی به ارتفاع  $3 \text{ m}$  حساب کنید.

**حل:** اگر فشار هوا در سقف اتاق را با  $p_1$  و در کف اتاق را با  $p_2$  نشان دهیم، اختلاف فشار

هوا بین پایین و بالای اتاق برابر است با

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho gh_2 - \rho gh_1 = \rho gh$$

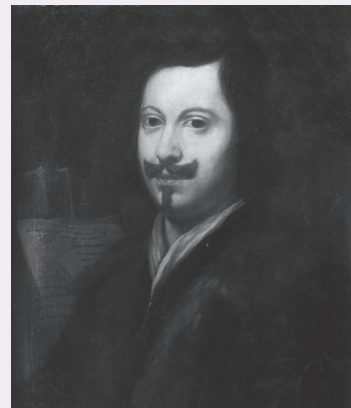
که در آن  $h$  ارتفاع اتاق است. بنابراین

$$\Delta p = (1.3 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ N/kg}) (3 \text{ m}) = 39 \text{ Pa}$$

همان‌طور که دیده می‌شود این اختلاف فشار در مقایسه با فشار هوای اتاق، یعنی  $10^5 \text{ Pa}$ ،

بسیار ناچیز است. در نتیجه با تقریب بسیار خوبی می‌توان فشار هوا را در تمام نقطه‌های یک

اتاق یا ظرفی که محتوی مقداری هوا یا هر نوع گاز دیگری است یکسان در نظر گرفت.



اونجلیستا تورپچلی (۱۵۴۱-۱۶۴۶) ریاضیدان و فیزیکدان ایتالیایی در ابتدا منشی گاليله بود. او با آزمایش‌های متعدد به این نتیجه رسید که هوا، برخلاف نظر ارسطو، وزن دارد و همین وزن هواست که آب را داخل تلمبه بالا می‌برد. تورپچلی همچنین دستگاهی ساخت که می‌توانست فشار هوا را اندازه بگیرد.

### فعالیت عملی



● اثرهای فشار هوا

### شبیه‌سازی



● آزمایش تورپچلی

## مثال ۴-۸

فشار کل وارد بر بدن یک غواص در عمق ۲۰ متری دریا چقدر است؟ چگالی آب دریا را  $1150 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

**حل:** وقتی غواص در زیر آب قرار دارد، فشار کل وارد بر بدن او برابر مجموع فشار هوای بیرون (که بر سطح دریا وارد می‌شود) و فشار ستون آب بالای بدن اوست. چون فشار هوای وارد بر سطح دریا توسط مولکول‌های آب به همه‌ی جسم‌های درون آب منتقل می‌شود، داریم

فشار ستون مایع + فشار هوا = فشار کل وارد بر بدن غواص

$$\begin{aligned} p &= p_0 + \rho gh \\ &= 10^5 \text{ Pa} + (1150 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ N/kg}) (20 \text{ m}) \\ &= 10^5 \text{ Pa} + 225400 \text{ Pa} = 325400 \text{ Pa} \end{aligned}$$

توجه کنید در این مثال هدف پیدا کردن فشار کل در عمق ۲۰ متری دریاست در حالی که در تمرین ۳-۶ باید تنها فشار ناشی از آب را در عمق ۴ متری به دست آوریم. بنابراین هنگام حل مسئله‌هایی به این گونه، دقت داشته باشید آیا باید فشار کل را حساب کنید یا تنها فشار ناشی از مایع را.

## تمرین ۴-۷

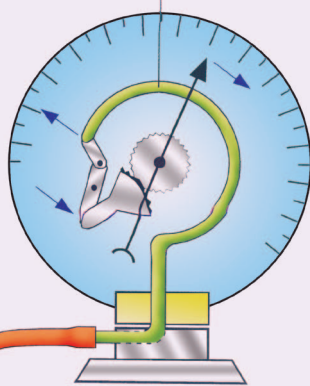
در چه عمقی از دریا فشار کل ده برابر فشار هوا در سطح دریاست؟ (چگالی آب دریا را  $1150 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.)

## بیش تر بدانید



- آشنایی با برخی از اثرهای فشار هوا در زندگی روزمره
- آشنایی با جو زمین

لوله‌ی مسی تو خالی که با افزایش فشار، بازتر می‌شود و خمیدگی آن کاهش می‌یابد.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۹

## مطالعه‌ی آزاد

## فشارسنج بُوردون

شکل ۶-۱۹ الف نوعی فشارسنج، مرسوم به فشارسنج بُوردون را نشان می‌دهد که معمولاً برای اندازه‌گیری باد لاستیک وسیله‌های نقلیه به کار می‌روند. این فشارسنج شبیه اسباب‌بازی شکل ۶-۱۹ ب کار می‌کند. اگر فشار گاز درون لوله‌ی مسی که خمیده و قابل انعطاف است افزایش یابد، خمیدگی لوله کاهش می‌یابد و لوله بازتر می‌شود. عقربه‌ای که به این لوله متصل است فشار را روی مقیاس کنار آن نشان می‌دهد.

## ۴-۶ اصل ارشمیدس و شناوری

از جدول ۱-۶ دیده می‌شود که چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است، بنابراین انتظار می‌رود که کشتی‌های فولادی سنگین باید در آب فرو روند، در حالی که می‌دانیم این کشتی‌ها روی آب شناور می‌مانند (شکل ۶-۲۰). همچنین بارها دیده‌ایم که بیرون آوردن یک جسم سنگین از داخل آب بسیار آسان‌تر از انجام این کار در بیرون آب است.

ارشمیدس دانشمند یونانی، نخستین کسی بود که پی برد به همی جسم‌هایی که درون مایع قرار می‌گیرند، از طرف مایع یک نیروی بالا بر (نیروی که می‌خواهد جسم را رو به بالا حرکت دهد) بر آن‌ها وارد می‌شود و همین نیرو سبب می‌شود که وزن جسم ظاهراً کاسته شود.

**اصل ارشمیدس:** شکل ۶-۲۱ الف یک قطعه فلزی آویزان شده به یک ترازوی فلزی (نیروسنج) را نشان می‌دهد که وزن آن در هوا  $10\text{ N}$  است. وقتی این قطعه مطابق شکل ۶-۲۱ ب به طور کامل درون آب قرار گیرد، نیروسنج عدد  $6\text{ N}$  را نشان می‌دهد. در واقع وزن قطعه  $4\text{ N}$  ( $10 - 6 = 4$ ) کاهش یافته است که ناشی از نیروی بالا بری است که از طرف آب به قطعه وارد شده است. اگر ظرفی لوله‌دار مطابق شکل ۶-۲۱ پ تهیه کنیم به طوری که تا سطح لوله دارای آب باشد، با فرو کردن قطعه درون آن، آب اضافی از طریق لوله به ظرف دیگری می‌ریزد. وزن آب خارج شده  $4\text{ N}$  است که دقیقاً برابر نیروی بالا بری است که از طرف آب به قطعه وارد می‌شود. انجام این آزمایش با مایع‌های دیگر و حتی گازها به همین نتیجه‌ی کلی می‌انجامد که به آن اصل ارشمیدس گفته می‌شود.



ارشمیدس (۲۱۲ ق.م. ۲۷۸ ق.م.) یکی از بزرگترین دانشمندان ریاضی و مکانیک یونانی.



شکل ۶-۲۰

### فعالیت عملی



اصل ارشمیدس

### آزمایشگاه مجازی

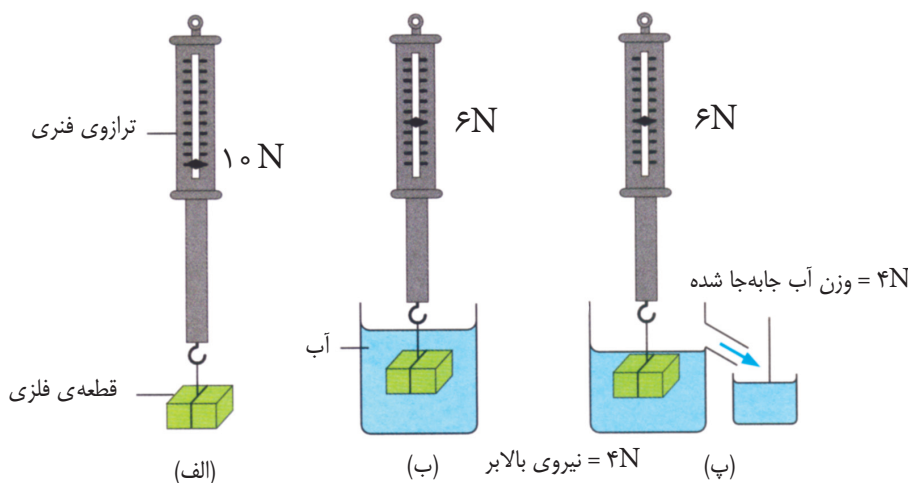


شناوری

### شبیه‌سازی



اصل ارشمیدس



شکل ۶-۲۱

**شناوری:** وقتی سنگی درون آب رها شود به پایین می‌رود و هرگاه توپ یا چوب‌پنبه‌ای درون آب رها شود به بالامی‌آید و این تجربه‌ای آشنا برای همه‌ی ماست. دلیل این تجربه‌ی ساده روشن است؛ وزن سنگ بیش‌تر از نیروی بالابر و وزن چوب‌پنبه کم‌تر از نیروی بالابر است (شکل ۶-۲۲).

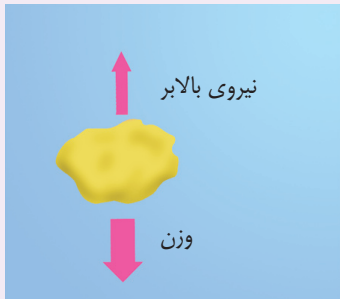
وقتی بزرگی نیروی وزن و نیروی بالابر که به یک جسم، مثلاً یک کشتی، وارد می‌شوند برابر باشند، جسم به صورت شناور روی آب می‌ماند. در این حالت کشتی نه از آب بالا می‌آید و نه در آب فرو می‌رود (شکل ۶-۲۳). بدنه‌ی تو خالی فولادی کشتی تا آنجا در آب فرو می‌رود که وزن آب جابه‌جا شده با وزن کشتی برابر شود، در این حالت نیروی بالابر با وزن کشتی برابر می‌شود و کشتی شناور می‌ماند. بنابراین برای یک جسم شناور در یک مایع اصل شناوری به صورت زیر بیان می‌شود:

جسم شناور مقداری از مایع را که وزن آن با وزن جسم برابر است جابه‌جا می‌کند.

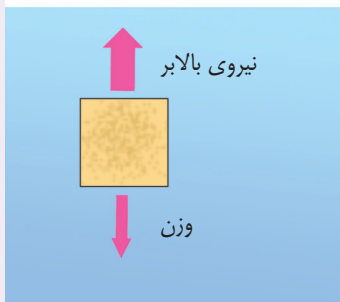
#### بیش‌تر بدانید



- چگالی سنج
- شناورسازی
- کوه‌های یخ شناور
- نیروی شناوری هوا

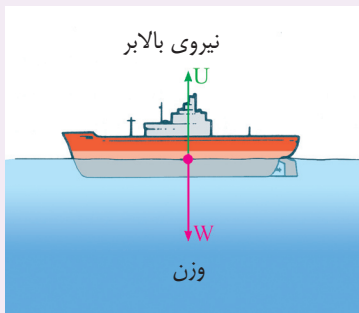


(الف)  $\text{نیروی وزن} < \text{نیروی بالابر}$



(ب)  $\text{نیروی وزن} > \text{نیروی بالابر}$

شکل ۶-۲۲

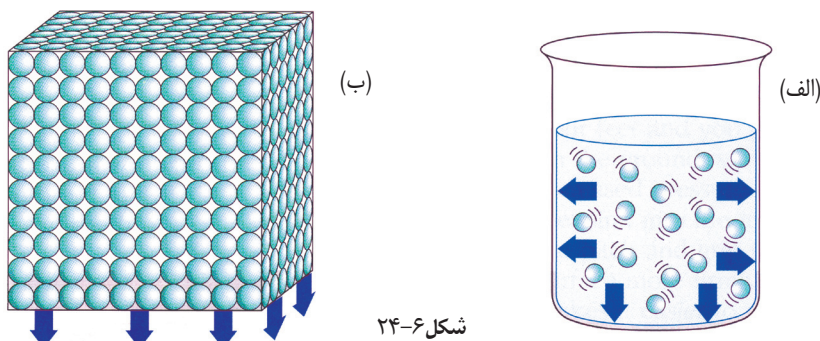


شکل ۶-۲۳ نیروی بالابر دقیقاً برابر وزن کشتی است و کشتی به صورت شناور روی آب باقی می‌ماند.

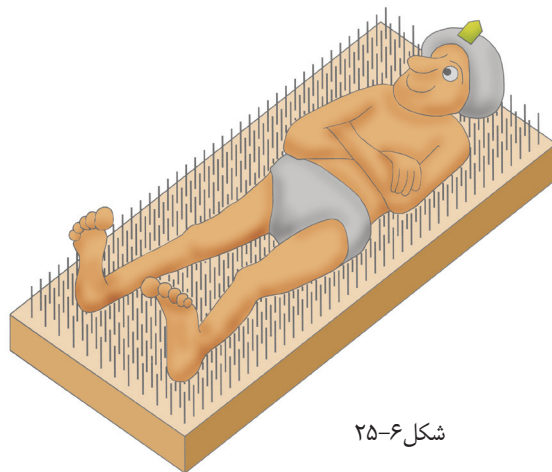


## پرسش‌های مفهومی

۱- در شکل ۲۴-۶ فشار در جامدها و مایع‌ها با یکدیگر مقایسه شده است برداشت خود را از این دو شکل بیان کنید.



۲- با وجود آن که مرتاض روی تعداد زیادی میخ نوک‌تیز خوابیده است ولی میخ‌ها به پوست او نفوذ نمی‌کنند (شکل ۲۵-۶). به کمک مفهوم فشار دلیل این موضوع را توضیح دهید.



۳- دانش‌آموزی سه نوع کفش ورزشی نشان داده شده در شکل ۲۶-۶ را بررسی می‌کند. (الف) توضیح دهید چگونه او می‌تواند سطح تماس میان هر کفش را با زمین اندازه‌گیری کند.

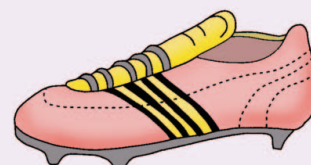
(ب) چرا نباید از کفش (پ) برای ورزش ژیمناستیک استفاده کرد؟

۴- برای تحمل وزن یک خانه، دیوارهای آن را روی پایه‌های بتونی قرار می‌دهند. در شکل ۲۷-۶ دو نوع پایه‌ی مختلف که معماران در این مورد به کار می‌برند دیده می‌شود. (الف) رابطه‌ی میان سطح تماس، نیرو و فشار را بنویسید.

(ب) برای ساختن خانه روی زمین بسیار نرم کدام یک از پایه‌های یاد شده مناسب‌تر است؟ علت انتخاب خود را توضیح دهید.



(الف)



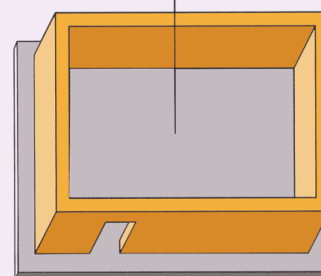
(ب)



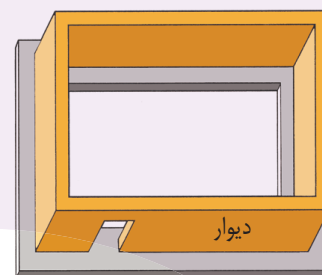
(پ)

شکل ۲۶-۶

هیچ فاصله‌ای میان پایه‌های بتونی وجود ندارد.

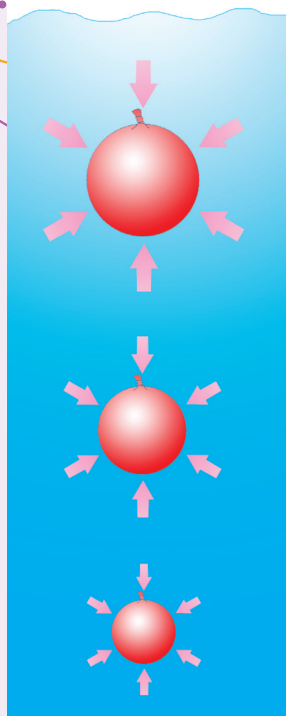


پایه‌ی یکپارچه

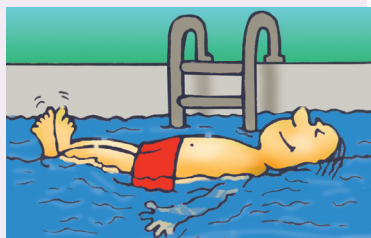


پایه‌ی نواری

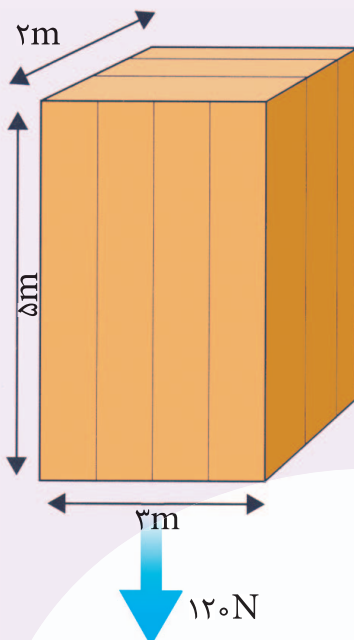
شکل ۲۷-۶



شکل ۲۸-۶



شکل ۲۹-۶



شکل ۳۱-۶

۵- شکل ۲۸-۶ تغییر حجم یک بادکنک را در عمق‌های مختلف یک استخر پر از آب نشان می‌دهد. برداشت خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون درباره‌ی فشار در مایع‌ها یاد گرفته‌اید توضیح دهید.

۶- اغلب مردم با کمی تمرین می‌توانند روی آب به حالت شناور بمانند (شکل ۲۹-۶). دلیل این موضوع را به کمک مفهومی‌های چگالی (مقایسه چگالی آب با چگالی بدن) و همچنین شناوری توضیح دهید.

۷- یکی از توصیه‌هایی که باید جدی بگیریم این است که: «هرگز روی یک استخر یا دریاچه‌ی یخ زده راه نرویم. زیرا فشاری که وزن ما ایجاد می‌کند ممکن است برای شکستن یخ کافی باشد.» توضیح دهید چرا امدادگر شکل ۳۰-۶ از یک نردبان بزرگ برای حرکت روی سطح یک دریاچه‌ی یخ زده استفاده کرده است.



شکل ۳۰-۶

## مسئله‌ها

۱- چگالی یک قطعه‌ی فلزی به جرم ۹۶ گرم و به حجم  $12\text{ cm}^3$  را بر حسب یکاهای  $\text{g/cm}^3$  و  $\text{kg/m}^3$  به دست آورید.

۲- ستاره‌های کوتوله‌ی سفید بسیار بسیار چگال هستند و چگالی آن‌ها حدود  $10^9\text{ kg/m}^3$  است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده‌ی کوتوله‌ی سفید داشته باشید، جرم آن چقدر خواهد شد؟ ابعاد یک قوطی کبریت  $1/0\text{ cm} \times 3/5\text{ cm} \times 5/0\text{ cm}$  است.

۳- صندوق شکل ۳۱-۶ را روی کدام وجه آن باید روی زمین قرار دهیم تا (الف) کمترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

(ب) بزرگ‌ترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

۴- در شکل ۳۲-۶ یک استوانه‌ی پراز آب دیده می‌شود.

(الف) مسیر خروج آب از لوله‌های خروجی x و y را رسم کنید.

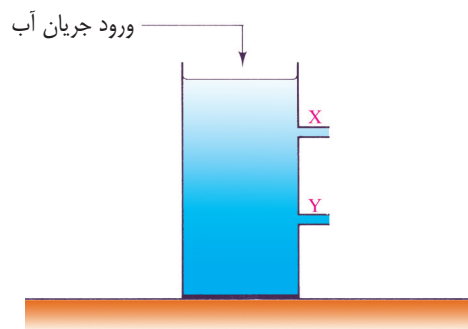
(ب) این آزمایش چه نکته‌ای را در مورد فشار مایع‌ها نشان می‌دهد؟

(پ) اگر به جای آب مایعی با چگالی کمتر به کار ببریم تفاوت‌ها را توضیح دهید.



ت) اگر فاصله‌ی لوله‌ی  $y$  از سطح آب درون استوانه  $120\text{ cm}$  باشد، فشار آب هنگام خروج از این لوله چقدر است؟ ( $g = 10\text{ N/kg}$ )

ث) اگر سطح دهانه‌ی لوله‌ی  $y$  برابر  $10^{-4}\text{ m}^2$  باشد و شخصی با قرار دادن انگشت خود بر این دهانه، جلو خروج آب را بگیرد، چه نیرویی بر انگشت او وارد می‌شود؟

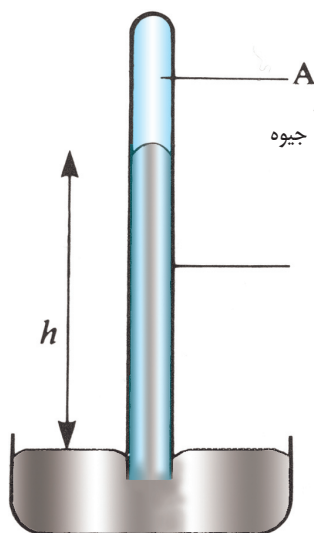


شکل ۳۲-۶

۵- شکل ۳۳-۶ یک جوسنج ساده‌ی جیوه‌ای را نشان می‌دهد.

الف) در قسمت A چه چیزی وجود دارد؟

ب) اگر ارتفاع  $h$  برابر  $70\text{ cm}$  باشد، فشار هوا در محل این جوسنج چقدر است؟ ( $g = 10\text{ N/kg}$  و  $\rho = 13600\text{ kg/m}^3$  جیوه)



شکل ۳۳-۶

# پیوست‌ها

## پیوست الف

### مروری کوتاه در ریاضیات

#### نشانه‌ها و نمادهای ریاضی

- $a = b$  یعنی  $a$  مساوی  $b$  است.
- $a \neq b$  یعنی  $a$  مساوی  $b$  نیست.
- $a > b$  یعنی  $a$  بزرگ‌تر از  $b$  است.
- $a < b$  یعنی  $a$  کوچک‌تر از  $b$  است.
- $a \geq b$  یعنی  $a$  کوچک‌تر از  $b$  نیست.
- $a \leq b$  یعنی  $a$  بزرگ‌تر از  $b$  نیست.
- $a \propto b$  یعنی  $a$  متناسب با  $b$  است.
- $a \cong b$  یعنی  $a$  تقریباً مساوی  $b$  است.
- $a \gg b$  یعنی  $a$  بسیار بزرگ‌تر از  $b$  است.
- $a \ll b$  یعنی  $a$  بسیار کوچک‌تر از  $b$  است.

#### توان‌ها و ریشه‌ها

برای هر عدد  $a$ ، توان  $n$ ام آن عدد عبارت است از  $n$  بار ضرب آن عدد در خودش، و به صورت  $a^n$  نوشته می‌شود.  $n$  را نما می‌نامند. از این قرار،

$$a^1 = a, a^2 = a.a, a^3 = a.a.a, a^4 = a.a.a.a, \dots$$

برای مثال،

$$3^2 = 3 \times 3 = 9, 3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27, 3^4 = 3 \times 3 \times 3 \times 3, \dots$$

یک نمای منفی دال بر این است که یک را  $n$  بار بر عدد تقسیم کنند؛ بنابراین

$$a^{-1} = \frac{1}{a}, a^{-2} = \frac{1}{a^2}, a^{-3} = \frac{1}{a^3}, \dots$$

نمای صفر، بی‌توجه به مقدار  $a$  حاصلش ۱ است،

$$a^0 = 1$$

قواعد ترکیب نماها در حاصل ضرب‌ها، کسرها، و در توان‌ها عبارت‌اند از:

$$a^n . a^m = a^{n+m}$$

$$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

$$(a^n)^m = a^{n.m}$$

برای مثال، به سادگی می‌توان نشان داد که

$$3^2 \times 3^3 = 3^5$$

$$\frac{3^2}{3^3} = 3^{-1} = \frac{1}{3}$$

$$(3^2)^3 = 3^{2 \times 3} = 3^6$$

توجه کنید که برای هر دو عدد  $a$  و  $b$

$$(a.b)^n = a^n . b^n$$

برای مثال،

$$(2 \times 3)^3 = 2^3 \times 3^3$$

ریشه‌ام  $n$ ام  $a$  عددی است که توان  $n$ ام آن مساوی  $a$  است. ریشه  $n$ ام عدد  $a$  به صورت  $a^{1/n}$  نوشته می‌شود. ریشه دوم عدد  $a$  یعنی  $a^{1/2}$  را معمولاً جذر آن می‌نامند و به صورت  $\sqrt{a}$  نمایش می‌دهند.

$$a^{1/2} = \sqrt{a}$$

چنانکه نمادگذاری  $a^{1/n}$  هم نشان می‌دهد، ریشه‌ها عبارت‌اند از توان‌های کسری. و از قواعد معمول در ترکیب نماها پیروی می‌کند:

$$(a^{1/n})^n = a^{n/n} = a$$

$$(a^{1/n})^m = a^{m/n}$$

### حساب کردن با نمادگذاری علمی

نمادگذاری علمی برای اعداد در ضرب و تقسیم اعداد بسیار بزرگ یا بسیار کوچک، کاملاً مفید است به خاطر این که می‌توانیم به بخش‌های اعشاری و صحیح اعداد به طور جداگانه پردازیم. برای مثال، در ضرب  $4 \times 10^{10}$  به  $5 \times 10^{12}$ ، به صورت زیر، ۴ را در ۵ و  $10^{10}$  را در  $10^{12}$  ضرب می‌کنیم:

$$(4 \times 10^{10}) \times (5 \times 10^{12}) = (4 \times 5) \times (10^{10} \times 10^{12}) \\ = 20 \times 10^{10+12} = 20 \times 10^{22} = 2 \times 10^{23}$$

در تقسیم این اعداد نیز به همین شیوه عمل می‌کنیم:

$$\frac{4 \times 10^{10}}{5 \times 10^{12}} = \frac{4}{5} \times \frac{10^{10}}{10^{12}} = 0.8 \times 10^{10-12} = 0.8 \times 10^{-2} = 8 \times 10^{-3}$$

در جمع یا تفریق اعداد در نمادگذاری علمی، باید مراقب باشیم که اعدادمان را با توان‌های یکسان

ده بیان کنیم. برای مثال، مجموع  $3 \times 10^8$  و  $1/5 \times 10^9$  عبارت است از

$$1/5 \times 10^9 + 3 \times 10^8 = 1/5 \times 10^9 + 0.3 \times 10^9 = 1/8 \times 10^9$$

### جبر

یک معادله، عبارت است از یک گزاره ریاضی که به ما می‌گوید یک کمیت یا ترکیبی از کمیت‌ها با کمیت یا ترکیبی از کمیت‌های دیگر مساوی است. بیشتر اوقات باید یکی از کمیت‌های معادله را بر حسب کمیت‌های دیگر معادله به دست بیاوریم. برای مثال می‌توانیم با حل معادله‌ی

$$x + a = b$$

جواب  $x$  را بر حسب  $a$  و  $b$  به دست بیاوریم. در اینجا  $a$  و  $b$  مقادیر عددی ثابت، یا عبارات ریاضی هستند که معلوم تلقی می‌شوند، و  $x$  به منزله‌ی مجهول معادله است.

قواعد جبری به ما می‌آموزند که چگونه با تغییر و تبدیل در معادله‌ها به راه‌حل و جواب آنها برسیم. مهمترین قواعد، سه قاعده‌اند به شرح زیر:

۱- هر گاه جمله‌های یکسان به طرفین یک معادله بیفزاییم یا از طرفین آن کم کنیم، اعتبار معادله برقرار می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده در حل معادله  $x + a = b$  سودمند است. از طرفین معادله  $a$  را کسر می‌کنیم و داریم

$$x + a - a = b - a$$

یعنی

$$x = b - a$$

برای این که ببینیم این قاعده در یک مثال عددی مشخص چگونه عمل می‌کند معادله‌ی

$$x + 7 = 5$$

را در نظر می‌گیریم. با کسر کردن ۷ از طرفین معادله، داریم

$$x = 5 - 7$$

یا

$$x = -2$$

توجه داشته باشید که در یک معادله به شکل  $x + a = b$ ، ممکن است بخواهیم  $a$  را بر حسب  $x$  و  $b$  پیدا کنیم، البته این در صورتی است که  $x$  قبلاً از روی اطلاعات دیگر معلوم بوده باشد اما  $a$  یک کمیت ریاضی باشد که هنوز معین نیست. اگر چنین باشد، باید  $x$  را از طرفین معادله کسر کنیم، و خواهیم داشت

$$a = b - x$$

اکثر معادله‌های فیزیکی حاوی چندین کمیت ریاضی هستند که بسته به شرایط گاهی اوقات نقش کمیت‌های معلوم را بازی می‌کنند، و گاهی هم نقش کمیت‌های مجهول را. در نتیجه، بسته به همین برای یافتن کمیت (همچون  $x$ ) مورد بررسی قرار دهیم.

۲- هرگاه طرفین یک معادله را به یک و همان عامل ضرب کنیم، اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، در حل معادله‌ای چون

$$ax = b$$

سودمند است. به طور ساده، طرفین را به  $a$  تقسیم می‌کنیم، و داریم

$$\frac{ax}{a} = \frac{b}{a}$$

$$x = \frac{b}{a}$$

غالباً این ضرورت پیش می‌آید که هر دو قاعده‌ی بالا را با هم ترکیب کنیم، برای مثال، در حل

معادله‌ی

$$2x + 10 = 16$$

با تفریق ۱۰ از طرفین شروع می‌کنیم و داریم

$$2x + 10 = 16$$

یا

$$2x = 6$$

و سپس طرفین را به ۲ تقسیم می‌کنیم و به دست می‌آوریم

$$x = \frac{6}{2}$$

یا

$$x = 3$$

۳- هرگاه دو طرف یک معادله را به توان یکسان برسانیم اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری

در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، حل معادله‌ی

$$x^3 = b$$

را ممکن می‌سازد. هر دو طرف را به توان  $1/3$  می‌رسانیم، و داریم

$$(x^3)^{1/3} = b^{1/3}$$

یا

$$x = b^{1/3}$$



رابطه‌ی معادله‌ی درجه‌ی دوم

$$ax^2 + bx + c = 0 \Rightarrow x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

قضیه‌ی فیثاغورس

$$a^2 + b^2 = c^2$$

محیط، مساحت و حجم

دایره‌ای به شعاع  $r$ : محیط  $= 2\pi r$ ; مساحت  $= \pi r^2$   
 کره‌ای به شعاع  $r$ : مساحت  $= 4\pi r^2$ ; حجم  $= \frac{4}{3}\pi r^3$   
 مثلثی با قاعده‌ی  $a$  و ارتفاع  $h$ : مساحت  $= \frac{1}{2}ah$

## پیوست ب

داده‌های فیزیکی

$3 \times 10^8 \text{ m/s}$	سرعت نور در خلأ، $c$
$1.5 \times 10^{11} \text{ m}$	یکای نجومی (AU)، فاصله‌ی متوسط زمین خورشید
$3.84 \times 10^8 \text{ m}$	فاصله‌ی متوسط زمین - ماه
$6.37 \times 10^6 \text{ m}$	شعاع زمین (در استوا)
$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$	جرم خورشید
$5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$	جرم زمین
$7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$	جرم ماه
$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	بار الکترون، $e$
$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	بار پروتون، $p$
$6.022 \times 10^{23} / \text{mol}$	عدد آو و گادرو، $N_A$

## پیوست پ

چیزهایی که لازم است بدانید

rate

آهنگ

تغییر یک کمیت تقسیم بر زمانی که این تغییر صورت می‌گیرد آهنگ آن کمیت نامیده می‌شود.

atom

اتم

کوچک‌ترین ذره‌ی هر عنصر که خواص شیمیایی همان عنصر را داشته باشد. متشکل از پروتون‌ها

و نوترون‌های موجود در هسته است که الکترون‌ها احاطه‌اش کرده‌اند.

### friction

### اصطکاک

نیروی که در مقابل حرکت اجسام یا مواد در تماس با یکدیگر مقاومت ایجاد می‌کند.

### static friction

### اصطکاک ایستایی

نیروی بین دو جسم که به سبب تماسی که مانع از لغزیدن می‌شود نسبت به هم ساکن می‌مانند.

### kinetic friction

### اصطکاک جنبشی

نیروی تماسی ناشی از مالش سطح جسم متحرک با سطح ماده‌ای که روی آن می‌لغزد.

### principle

### اصل

فرض کلی یا حکمی در مورد در مورد رابطه‌ی کمیت‌های طبیعی که بارها آزموده شده و هرگز نقض نشده است؛ آن را قانون هم می‌خوانند.

### Archimedes' principle

### اصل ارشمیدس

رابطه‌ی بین نیروی شناوری و مایع جابه‌جا شده: بر جسم غوطه‌ور نیروی شناوری برابر وزن مایع جابه‌جا شده وارد می‌شود.

### pascal's principle

### اصل پاسکال

تغییر فشار در هر نقطه از شارهی محصور بدون کم شدن در تمامی جهتها به تمام نقاط شاره منتقل می‌شود.

### Principle of floatation

### اصل شناوری

جسم شناور وزن شارهای برابر با وزن خودش را جابه‌جا می‌کند.

### energy

### انرژی

آنچه بتواند وضعیت ماده را تغییر دهد. معمولاً به توانایی انجام دادن کار گفته می‌شود.

### gravitational potential energy

### انرژی پتانسیل گرانشی

انرژی‌ای که جسم به سبب موقعیت خود در میدان گرانشی دارد. روی زمین، انرژی پتانسیل برابر جرم ( $m$ ) ضرب در شتاب گرانی ( $g$ ) ضرب در ارتفاع ( $h$ ) از سطح مرجعی چون سطح زمین است.

$$U = mgh$$

### kinetic energy

### انرژی جنبشی

انرژی حرکت برابر است با نصف جرم ضرب در مربع اندازه سرعت.

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

## mechanical energy

## انرژی مکانیکی

انرژی ناشی از مکان یا حرکت چیزی؛ به صورت انرژی پتانسیل یا جنبشی (یا ترکیبی از هر دو).

## lever arm

## بازوی اهرم

فاصله‌ی عمودی بین محور و خط اثر نیرو که چرخشی دور آن محور به وجود می‌آورد.

## resultant

## برایند

نتیجه‌ی خالص ترکیب دو یا چند بردار.

## vector

## بردار

پیکانی که طول آن نشان دهنده‌ی اندازه‌ی یک کمیت است و جهت آن جهت کمیت را نشان می‌دهد.

## interaction

## برهم کنش

کنش متقابل بین اجسامی که در آن هر جسم نیرویی مساوی با علامت مخالف به دیگری وارد می‌آورد.

## Pascal

## پاسکال

یکای SI برای فشار. یک پاسکال نیروی قائم یک نیوتون بر هر مترمربع وارد می‌کند. یک کیلو پاسکال (kPa) برابر ۱۰۰۰ پاسکال است.

## conservation of energy

## پایستگی انرژی

این اصل که انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد. فقط می‌توان آن را از شکلی به شکل دیگر تبدیل کرد، اما مقدار کل آن هرگز تغییر نمی‌کند.

## conservation of momentum

## پایستگی تکانه

در نبود نیروی خالص خارجی، تکانه‌ی یک جسم یا دستگاهی از اجسام تغییر نمی‌کند.

$$mv = mv \text{ (پس از برخورد) } = mv \text{ (پیش از برخورد)}$$

## conserved

## پایسته

اصطلاحی که برای کمیت‌های فیزیکی چون تکانه، انرژی، یا بار الکتریکی به کار می‌رود که در طی برهم کنش‌ها تغییر نمی‌کند.

## stable equilibrium

## تعادل پایدار

وضعیت جسمی که به گونه‌ای متوازن شده که هر جابه‌جایی یا دوران مختصر باعث بالا رفتن گرانیگاه آن می‌شود.

## mechanical equilibrium

## تعادل مکانیکی

حالت جسم یا دستگاهی از اجسام که نیروهای وارد بر آن صفر شوند و شتابی به وجود نیاید،

هنگامی که هیچ گشتاور خالصی وجود نداشته باشد.

### unstable equilibrium

### تعادل ناپایدار

حالت جسمی که چنان متوازن شده که گرانیگاه آن جابه‌جایی اندک یا چرخش مختصری یافته است.

### momentum

### تکانه (اندازه حرکت)

حاصل ضرب جرم و سرعت جسم (در صورتی که اندازه‌ی سرعت بسیار کمتر از اندازه‌ی سرعت نور باشد). تکانه اندازه و جهت دارد و در نتیجه کمیتی برداری است. آن را تکانه‌ی خطی هم می‌نامند، و به اختصار با  $p$  نشان می‌دهند.

$$P = mv$$

### fulcrum

### تکیه‌گاه

نقطه‌ی اتکای اهرم.

### power

### توان

آهنگ انجام گرفتن کار یا تبدیل انرژی، برابر است با کار انجام شده یا انرژی تبدیل شده تقسیم بر زمان؛ بر حسب وات اندازه‌گیری می‌شود.

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}}$$

### universal gravitational constant

### ثابت گرانش عمومی

ثابت تناسب  $G$  که معیاری از شدت گرانی در معادله‌ی مربوط به قانون گرانش عمومی نیوتون است:

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

### mass

### جرم

مقدار ماده‌ی موجود در جسم؛ معیاری از لختی یا تنبلی که جسم در واکنش به هر نوع تلاش برای به حرکت درآوردن، متوقف کردن، یا تغییر حالت حرکت از خود نشان می‌دهد؛ نوعی از انرژی.

### density

### چگالی

جرم ماده در واحد حجم.

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

### volume

### حجم

مقدار فضایی که جسم اشغال می‌کند.

**elastic limit**

**حد کشسانی**

فاصله کشیدگی یا جمع‌شدگی ماده که فراتر از آن ماده کشسان به حالت اولیه‌اش برنمی‌گردد.

**linear motion**

**حرکت خطی**

حرکت در امتداد خط راست.

**nonlinear motion**

**حرکت غیرخطی**

حرکتی که در امتداد خط راست نباشد.

**vacuum**

**خلأ**

نبود ماده؛ تهی.

**scientific method**

**روش علمی**

روش منظم به دست آوردن، سازمان‌دهی، و به کارگیری معلومات جدید.

**Joule**

**ژول**

یکای SI برای کار و دیگر شکل‌های انرژی. هرگاه نیروی یک نیوتون وارد بر جسم آن را یک متر در جهت نیرو جابه‌جا کند، یک ژول کار انجام شده است.

**light-year**

**سال نوری**

مسافتی که نور در مدت یک سال در خلأ طی می‌کند:  $9.46 \times 10^{12}$  km.

**velocity**

**سرعت**

اندازه سرعت جسم و جهت حرکت آن؛ کمیتی برداری است.

**critical velocity**

**سرعت حدی**

اندازه سرعت جسم هنگامی که نیروهای مقاوم، معمولاً مقاومت هوا، با نیروی‌های محرک متوازن شوند به طوری که حرکت بدون شتاب شود.

**free fall**

**سقوط آزاد**

حرکتی که فقط تحت تأثیر گرانی باشد.

**acceleration**

**شتاب**

آهنگ تغییر سرعت جسم بر حسب زمان؛ این تغییر سرعت می‌تواند در اندازه (اندازه سرعت)، یا جهت، یا در هر دو آنها باشد.

**acceleration due to gravity**

**شتاب ناشی از گرانی**

شتاب جسم در سقوط آزاد. مقدار آن نزدیک سطح زمین حدود  $9.8$  متر بر مجذور ثانیه است.

**hypothesis**

**فرضیه**

حدس قریب به یقین؛ توصیفی منطقی از مشاهده یا نتیجه‌ای تجربی که پیش از بارها آزمودنش

با آزمایش به صورت واقعیت پذیرفته نمی‌شود.

## pressure

## فشار

نیروی وارد بر واحد سطح در حالتی که نیرو بر سطح عمود باشد؛ بر حسب پاسکال اندازه‌گیری می‌شود. فشار جو را نیز ببینید.

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمود بر سطح}}{\text{سطح}}$$

## atmospheric pressure

## فشار جو

فشار وارد بر اجسام غوطه‌ور در هوا که ناشی از وزن هوایی است که بالای آن قرار دارد. فشار جو در سطح دریا حدود ۱۰۱ kPa است.

## barometer

## فشار سنج

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

## technology

## فناوری

روش و قابلیت حل مسائل عملی با استفاده از یافته‌های علمی.

## law

## قانون

فرضی کلی یا گزاره‌ای درباره‌ی رابطه‌ی کمیت‌های طبیعی که بارها به محک آزمون گذارده شده و هیچ‌گونه تناقضی برای آن یافت نشده است. آن را اصل هم می‌نامند.

## law of universal gravitation

## قانون گرانش عمومی

در دستگاه متشکل از دو ذره، هر ذره دیگری را با نیرویی جذب می‌کند که با حاصل ضرب جرم آنها نسبت مستقیم و با مجذور فاصله‌ی آنها از یکدیگر (یا اگر اجسامی کروی باشند، با مرکز جرمشان) نسبت عکس دارد. اگر  $F$  نیرو،  $m$  جرم، و  $r$  فاصله، و  $G$  ثابت گرانشی باشد:

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

## law of inertia

## قانون لختی

قانون اول از قانون‌های حرکت نیوتون را ببینید.

## Newton's laws of motion

## قانون‌های حرکت نیوتون

قانون اول: هر جسم ساکن می‌ماند یا به حرکت با اندازه‌ی سرعت ثابت در خط راست ادامه می‌دهد، مگر آنکه نیروی خالص وارد بر آن باعث تغییر این وضعیت شود. آن را قانون لختی نیز می‌نامند.

قانون دوم: شتاب ناشی از نیروی خالص وارد بر جسم با اندازه‌ی این نیرو نسبت مستقیم دارد، در همان جهت نیروی خالص است، و با جرم نسبت عکس دارد.

قانون سوم: هرگاه جسمی بر جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیرویی مساوی و با علامت



مخالف به جسم اول وارد می‌سازد.

### قانون هوک

Hooke's law

کشیدگی یا جمع‌شدگی فاصله‌ی (گسترش یا تراکم) محیط کشسان با نیروی وارد بر آن نسبت مستقیم دارد. اگر  $x$  تغییر طول و  $k$  ثابت فنر باشد:

$$F = k \cdot x$$

### قضیه‌ی کار - انرژی

work-energy theorem

کار برآیند نیروهای وارد بر یک جسم در یک جابه‌جایی معین برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی:

$$W = K_2 - K_1$$

### کار

work

حاصل ضرب نیروی وارد بر جسم و مسافتی که جسم (وقتی نیرو ثابت و حرکت در خط راست و در جهت نیرو باشد) حرکت کرده است؛ بر حسب ژول اندازه‌گیری می‌شود:

### کشسانی

elasticity

ویژگی جامدی که شکلش با اعمال نیروی تغییر شکل دهنده‌ای تغییر کند و پس از حذف این نیرو شکل اولیه‌اش را به دست آورد.

### کمیت نرده‌ای (اسکالر)

scalar quantity

کمیت‌های فیزیکی چون جرم، حجم، و زمان که می‌توان آن را با اندازه‌اش به طور کامل توصیف کرد، و هیچ جهتی ندارد.

### کمیت برداری

vector quantity

کمیتی فیزیکی که اندازه و جهت دارد. نمونه‌های آن عبارت‌اند از: نیرو، سرعت، شتاب، گشتاور.

### کیلو

kilo

پیشوندی به معنی هزار، مانند کیلووات یا کیلوگرم.

### کیلوگرم

kilogram

یکای بنیادی جرم در SI برابر ۱۰۰۰ گرم. یک کیلوگرم تقریباً برابر جرم یک لیتر آب در  $4^\circ\text{C}$  است.

### کیلومتر

kilometer

هزار متر.

### کیلووات

kilowatt

هزار وات.

## gravitation

## گرانش

جاذبه‌ی بین اجسام ناشی از جرم آنها. قانون گرانش عمومی و ثابت گرانش عمومی را نیز ببینید.

## center of gravit (CG)

## گرانیکاه

نقطه‌ای در مرکز توزیع وزن جسم که می‌توان فرض کرد نیروی گرانی به آن وارد می‌شود.

## gram

## گرم

یکایی برای جرم در دستگاه متریک. هر گرم یک هزارم کیلوگرم است.

## torque

## گشتاور

حاصل ضرب نیرو در فاصله‌ی بازوی اهرمی که اثر چرخاندگی تولید می‌کند.

نیرو  $\times$  فاصله‌ی بازوی اهرم = گشتاور

## inertia

## لختی

تنبلی یا مقاومت ظاهری جسم در برابر تغییر وضعیت حرکت. جرم هر جسم معیاری از لختی آن است.

## (L) liter

## لیتر

یکای حجم در دستگاه متریک. یک لیتر  $1000 \text{ cm}^3$  است.

## satellite

## ماهواره

پرتابه یا جسم سماوی دیگری که دور جسم سماوی بزرگ‌تری می‌گردد.

## meter

## متر

یکای استاندارد طول در SI

## axis

## محور

الف) خط راستی که چرخش به دور آن صورت می‌گیرد. ب) خط‌های راست مرجع در یک نمودار، معمولاً محور X برای اندازه‌گیری جابه‌جایی افقی و محور Y برای اندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی به کار می‌رود.

## air-resistance

## مقاومت هوا

اصطکاک یا کشش وارد بر جسمی که در هوا حرکت می‌کند.

## nanometer

## نانومتر

یکای طول در دستگاه متریک برابر  $10^{-9}$  متر (یک میلیاردم متر)

## inversely

## نسبت عکس

وقتی دو مقدار در جهت عکس هم به گونه‌ای تغییر کنند که افزایش یکی باعث کاهش دیگری

به همان اندازه شود می‌گوییم آنها با هم نسبت عکس دارند.

## نظریه

## theory

تلفیق حجم زیادی از اطلاعات که شامل فرض‌های آزموده و تأیید شده درباره‌ی موضوع‌های مختلف جهان طبیعی باشد.

## نیرو

## force

هر عاملی که باعث شتاب دادن به جسم شود؛ هل دادن یا کشیدن؛ که بر حسب نیوتون اندازه‌گیری می‌شود. نیرو کمیتی برداری است.

## نیروی بالابر

## lift

نیروی خالص بالاسویی که اختلاف فشارهای روبه بالا و روبه پایین به وجود می‌آورد. پرواز افقی وقتی امکان‌پذیر می‌شود که نیروی بالابر برابر وزن جسم شود.

## نیروی تکیه‌گاه

## support force

نیروی بالاسویی که با وزن جسم واقع بر یک سطح متوازن می‌شود.

## نیروی خالص

## net force

ترکیب تمام نیروهایی که بر جسمی اثر می‌کنند.

## نیروی قائم

## normal force

مؤلفه‌ی نیروی تکیه‌گاه بر سطح آن عمود است. برای جسمی واقع بر سطحی افقی، نیروی بالاسویی است که با وزن جسم متوازن می‌شود.

## نیروی کنش

## action force

یکی از زوج نیروهای توصیف شده در قانون سوم نیوتون. قانون سوم قانون‌های حرکت نیوتون را نیز ببینید.

## نیروی واکنش

## reaction force

نیروی برابر با نیروی کنش و در جهت مخالف آن، و نیرویی که، همزمان، هنگام اعمال نیروی کنش بر همان جسم اعمال می‌شود. قانون سوم نیوتون را نیز ببینید.

## نیوتون

## Newton

یکای نیرو در SI. یک نیوتون نیرویی است که وقتی به جرم یک کیلوگرم وارد شود شتاب یک متر بر مجذور ثانیه را تولید کند.

## وزن

## weight

نیرویی که جسم بر سطح تکیه‌گاه (یا اگر آویزان باشد بر نخ نگهدارنده) وارد می‌کند که اغلب، اما نه همیشه، ناشی از نیروی گرانی است.

## پیوست پ

Archimedes' principle	اصل ارشمیدس
measurement	اندازه گیری
potential energy	انرژی پتانسیل
kinetic energy	انرژی جنبشی
efficiency	بازده
resultant	برایند
vector	بردار
position vector	بردار مکان
anti clock wise	پادساعتگرد
conservation of energy	پایستگی انرژی
balance	ترازو
equilibrium	تعادل
stable equilibrium	تعادل پایدار
unstable equilibrium	تعادل ناپایدار
power	توان
constant of spring	ثابت فنر
displacement	جابہ جایی
mass	جرم
couple	جفت نیرو
direction	جهت
density	چگالی
motion	حرکت
accelerating motion	حرکت تند شونده
kinematics	حرکت شناسی
decelerating motion	حرکت کند شونده
uniform motion	حرکت یکنواخت
vacuum	خلاء
International System of Units	دستگاه بین المللی یکاها
dynamics	دینامیک

clockwise  
initial velocity  
instantaneous velocity  
average velocity  
free falling  
acceleration  
instantaneous acceleration  
average acceleration  
slope  
pressure  
barometer  
Bourdon gauge  
spring  
flotation law  
Hook's laws  
Newton's laws  
work-energy theorem  
work  
quantity  
gravitation  
center of gravity  
torque  
inertia  
satellite  
horizontal axis  
vertical axis  
Path  
scalar  
turning point  
scientific notation  
force

ساعتگرد  
سرعت اولیه  
سرعت لحظه‌ای  
سرعت متوسط  
سقوط آزاد  
شتاب  
شتاب لحظه‌ای  
شتاب متوسط  
شیب خط  
فشار  
فشارسنج  
فشارسنج بوردون  
فنر  
قانون شناوری  
قانون هوک  
قانون‌های نیوتون  
قضیه‌ی کار-انرژی  
کار  
کمیت  
گرانش  
گرانیگاه (مرکز گرانش)  
گشتاور  
لختی  
ماهواره  
محور افقی  
محور قائم  
مسیر  
نرده‌ای  
نقطه‌ی چرخش  
نمادگذاری علمی  
نیرو

dynamometer

buoyancy

turning force

elastic force

weight

unit

base units

derived units

نیروسنج

نیروی بالابر

نیروی چرخاننده

نیروی کشسانی

وزن

یکا

یکاهای اصلی

یکاهای فرعی



## فهرست منابع

- ۱- درک فیزیک، بریان آرنولد، ترجمه‌ی روح الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان، چاپ دوم ۱۳۸۹، انتشارات مدرسه.
- ۲- مکانیک و پرتوزایی، مارک الس و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح الله خلیلی بروجنی و احمد توحیدی، چاپ اول ۱۳۸۷، انتشارات مدرسه.
- ۳- میدان‌ها و نیروها، مارک الس و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح الله خلیلی بروجنی، چاپ اول ۱۳۸۷، انتشارات مدرسه.
- ۴- فیزیک دانشگاهی، جلد اول، ویرایش دوازدهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمه‌ی اعظم پورقاضی و روح الله خلیلی بروجنی، ویراسته‌ی ناصر مقبلی، چاپ اول ۱۳۸۹، نشر علوم نوین.

- 5- Douglas C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers, Prentice Hall, 2008.
- 6- Tipens, Physics, 7th Edition, Mc Graw Hill, 2007.
- 7- Jams Trefil, Physics Matters, John wiley, 2004.
- 8- Nick England, Physics Matters, 3th Edition, Hodder & Stoughton, 2001.
- 9- Tom Duncan, GCSE Physics, 4th Edition, John Murray, 2001.
- 10- Jim Breithaupt, Key Science, 3th Edition, Nelson Thornes, 2001.
- 11- Vern J.Ostdiek, Inquiry into Physics, 4th Edition, Brooks/Cole, 2000.
- 12- Eugene Hecht, Physics, 2th Edition, Brook/ Cole, 2000.
- 13- John Avison, The World of Physics, 2th Edition, Nelson, 1989.