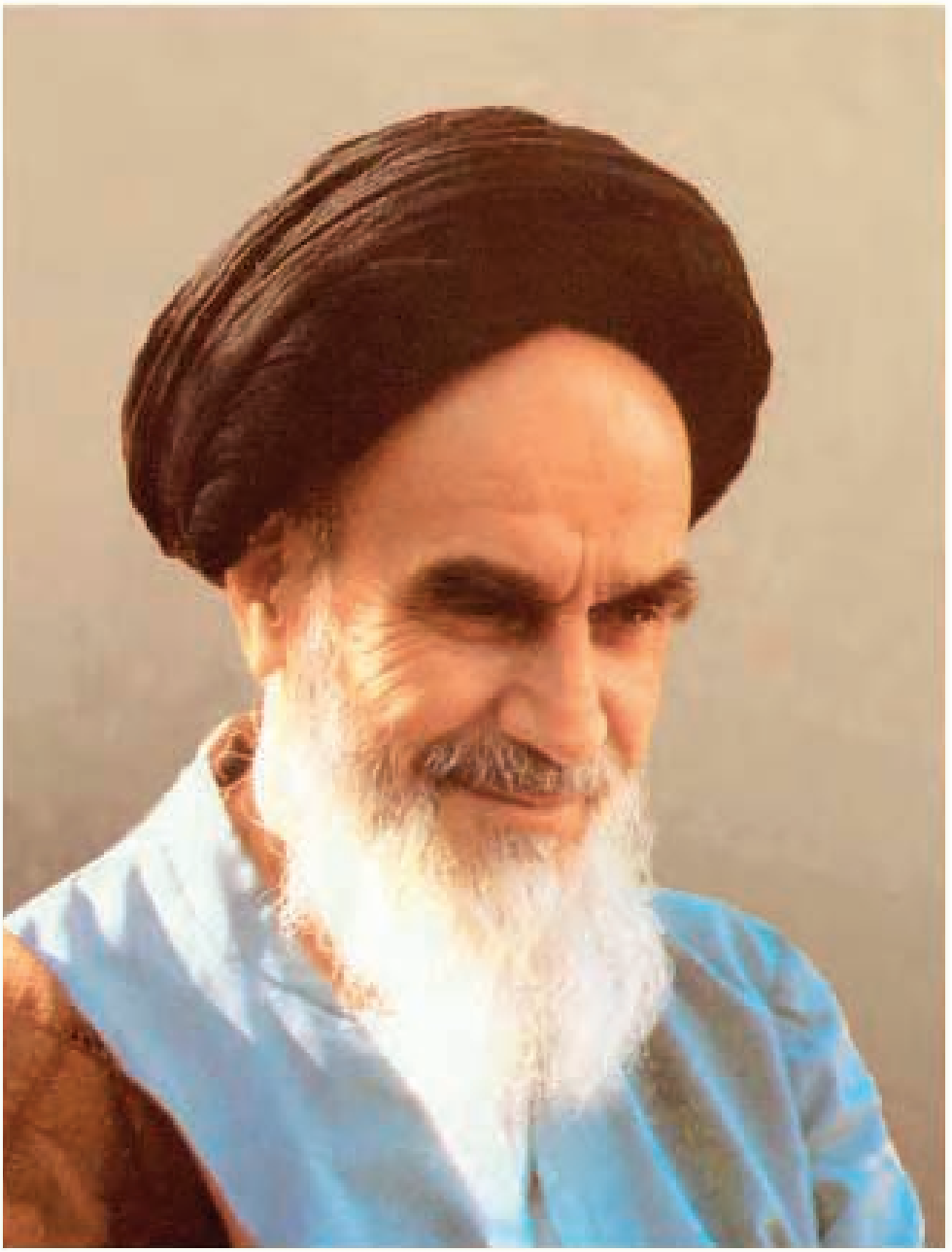
بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک ۲

خلیلی بروجنی، روح‌الله ۱۳۵۰
فیزیک ۲/ تألیف روح الله خلیلی بروجنی، دفتر تألیف کتاب‌های درســی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران،۱۳۹۴.
۱۳۶ ص جدول ، نمودار . ـ (شمارهٔ درس۴۹۸/۸)
فهرست نویسی براساس اطلاعات فیپا.
۱ . فیزیک ۲ . راهنمای آموزش (متوسطه) .
ج . عنوان
۰۴۰۷۶/۳۳۸ ک ۲۷۹

برنامه ریزی محتوا ونظارت برتألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش
نام کتاب: فیزیک (۲) ـ ۳۵۹/۵۴ و ۴۹۷/۸
مؤلف: روح‌الله خلیلی بروجنی (khalily@ gmail.com)
نظارت بر چاپ و توزیع: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار:۸۸۳۰۹۲۶۶،کدپستی:۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،
وب‌سایت : www.chap.sch.ir
ویراستار: ناصر مقبلی
مدیر هنری، طراح گرافیک و صفحه‌آرا: حسین وهابی
طراح جلد: امیر نساجی
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان (داروپخش)
تلفن : ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران « سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سوم ۱۳۹۴
حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۴-۱۷۵۳-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1753-4



فهرست

۱ اندازه گیری و بردارها ۱۱

۲ حرکت روی خط راست ۲۷

۳ نیرو و قانون های نیو تون ۴۷

۴ کار برد قانون های نیوتون ۶۹

۵ کار و انرژی ۸۵

۶ چگالی و فشار ۱۰۱

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. نظریه های 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 می چرخد، می‌توانید با به‌کار 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 ازنتایج 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 مشاهده‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت نظریه‌ی فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را درصورت 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 شـیوه‌های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری برگزیده‌ی خود را داریم. درک شـیوه‌ی یادگیری خودتان به شـما کمک می‌کند که روی جنبه‌های از فیزیک که می‌توانند برای شـما دشوار باشند تمرکز کنید و آن مؤلفه‌هایی را به کار گیرید که شـما را در غلبه بر مشـکل 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 انجـام آزمایش یاد می‌گیرید، حضور فعال در کلاس‌های درس بسـیار مهم هسـتند. اگر با توضیح دادن یاد می‌گیرید، آن‌گاه علاوه بر حضور فعال در کلاس‌های درس، کار کردن با دانش آموزان دیگر برای شـما بسـیار 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 مطالعه‌ای 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 کاربردن 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.)
- آسـان‌ترین 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.)
- آیـا زمانی که صرف مطالعه‌ی فیزیک می‌کنم کافی اسـت؟ (تجربه نشـان 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!)
- آیـا در جـای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم کار می‌کنم؟ (مزاحمت‌ها روال کار شـما را بر هم می‌زند و موجب می‌شود نکته‌های مهم را از قلم بیندازید.)

کارکردن با دیگران

دانشـمندان و مهندسـان به ندرت در انزوا از یکدیگر کار می‌کنند، بلکه بیش‌تر با یکدیگر همکاری دارند. اگـر با دیگر دوسـتانتان کار کنید هم فیزیـک بیش‌تر یاد خواهید گرفت و هم از ایـن 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 گرانقدری 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 صرفا برای مثال ها یا تمرین هایی پیشنهاد می شود که در کتاب درسی و یا در کتاب کار شما موجود نیستند و معلم شما برای تفهیم بهتر موضوع آنها را برای شما مطرح می کند.

راه حل مسئله‌های فیزیک

تقریباً همه‌ی دانش آموزان 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 برید.

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 ـ 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 می دانید 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 شـوید فهرسـتی 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 پاسـخ شـما 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 بپرسـید «آیا این پاسـخ با معناسـت؟» اگر متغیر هدف شما شعاع کره‌ی زمین بوده و پاسـخ شـما ۶/۳۸ 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

شـرکت در آزمون برای هر کس تنش زاسـت. 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 شـده اسـت. شما باید بی‌درنگ آن آزمون را مرور کنید و اشـتباه‌هایی را که مرتکب شده‌اید بفهمید. اگر در حل مسـئله‌ای خطاهای قابل ملاحظه‌ای مرتکب شـده‌اید به این شیوه عمل کنید که یک تکه کاغذ بردارید و آن را با خطی از بالا تا پایین کاغذ، از وسـط به دو بخش تقسـیم کنید. در یک سـتون حل درست مسئله را بنویسید. در سـتون دیگر کارهایی را که خودتان انجام داده‌اید، و اگر می‌دانید که دلیل آن کارها و این که چرا حل شـما 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 پیوسـته بر روی ایده‌های بنیادی ساخته می‌شود و این مهم اسـت که هر بدفهمی را بی‌درنگ تصحیح کنیم. اخطار: در آخرین روز و سـاعت خود را با عجله برای آزمـون آماده کردن ممکن اسـت شـما را در آزمون مورد نظر تا حدی موف گردانـد، ولی مفهوم‌هایی را که فرا گرفته‌اید به قدر کفایت برای استفاده در آزمون بعدی به یاد نخواهید داشت.

مسیر آموزش و یادگیری

دانش‌آموزان عزیز! مسـیر 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 رهنما و خرد رهگشای　　خرد دست گیرد به هر دو سرای

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، شیوه های آموزش ما درکلاس 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.»

همان طور 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 می تواند راهگشا باشد.

فصل اول: در این فصل پس از نگاهی کوتاه به اندازه گیری و یکاهای اصلی مورد استفاده در مکانیک(جرم، طول، و زمان)، آشنایی مقدماتی با بردارها آمده است. همچنین در برایند 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. دانش آموزان پس از آشنایی با حرکت یکنواخت و رسم نمودار مکان- زمان آن ، حرکت با شتاب ثابت و معادله های آن را مورد توجه قرار می دهند. شیوه‌ی یافتن این معادله ها به هیچ وجه نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد. نمودار سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت به صورت یک مثال برای دانش آموزان 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 قرارگیرد. 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 حرکت‌شناسی 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 دانش آموزان براساس آن ها به درک درستی از مفهوم نیرو برسند. سپس قانون‌های حرکت نیوتون و قانون‌های نیرو (وزن، تکیه گاه، و اصطکاک) بررسی شده اند. 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 ارزشیابی ها مطرح شود.

فصل چهارم: در این فصل دانش آموزان با کاربرد آنچه تا کنون خوانده اند آشنا می شوند.لازم است اشاره

شـود که گشـتاور 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.

فصـل پنجـم: در این فصل قضیـه‌ی کار- انرژی بدون اثبات معرفی شـده و ضـرورت دارد حداکثر در حد مثال‌هایی که در کتاب آمده تدریس و ارزشـیابی شـود. درگیر کردن ذهن دانش آموزان با مثال های پیچیده و دشوار به هیچ رو مورد نظر نبوده است.

فصل ششـم: این فصل نیز به جهت ملموس بودن مباحث آن برای دانش آموزان جذابیت خاصی دارد. ارایه و انجام آزمایش های ساده می تواند فضای بهتری برای درک مفاهیم و شوق انگیز شدن فضای کلاس فراهم کند. در پایان فصل اصل ارشـمیدس و قانون شـناوری به طور بسیار ساده ای معرفی شده اند که تنها در همین حد از دانش آموزان انتظار فهم و دریافت می رود.

قدردانی

اینک که پس از سال آموزش این کتاب، چاپ دوم آن با توجه به نظرات رسیده، جامه‌ی طبع به خود می‌پوشد و صورت انتشـار 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

دانش آموزان عزیز و معلمان ارجمند:

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

محتوای بسته‌ی دانش آموز:

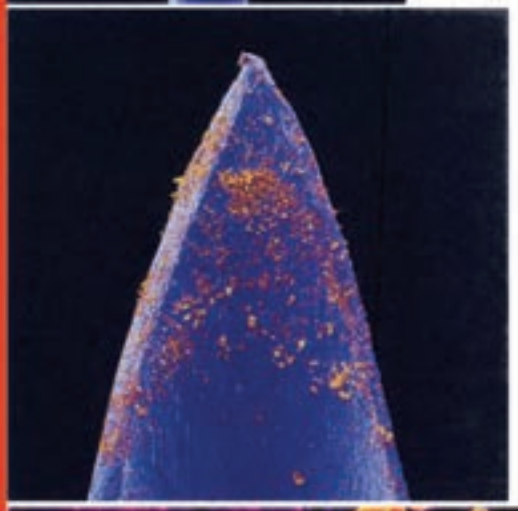
کتاب درسی
کتاب راهنمای مطالعه و کار دانش آموز
نرم افزار تعاملی ضمیمه‌ی کتاب درسی

محتوای بسته‌ی معلم:

کتاب راهنمای تدریس معلم
نرم افزار معلم

فصل ۱

اندازه گیری و بردارها



آیـا می‌توانید اندازه‌ی یـک باکتری را برآورد کنید؟

تصویـری از باکتری‌های میله‌ای روی سر یک سـوزن. بزرگنمایی هر تصویر به ترتیب از بالا به پایین، ۹× ، ۳۶× ، ۸۷۵× و۴۳۷۵× برابر است.

سیمای فصل

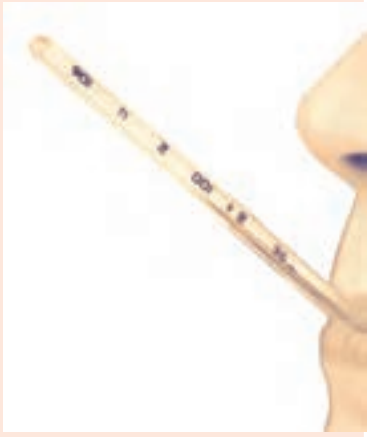
۱-۱ دستگاه بین‌المللی یکاهای اندازه‌گیری

۱-۲ استانداردهای زمان، طول و جرم

۱-۳ کمیت‌های فیزیکی

۱-۴ 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 بیمارمثلاً 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 نیزخواهیم پرداخت.

بیش تر 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 (هـ.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.[1] جدول ۱-۱ یکاهای سه کمیت اصلی ـ طول، جرم و زمان ـ 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

شبیه‌سازی

- حرکت ماه به دور زمین
- شب و روز

بیش‌تر بدانید

- تشکیل فصل‌ها

مطالعه‌ی آزاد*

دو دستگاه یکای دیگر وجود دارد که همچنان با دستگاه SI رقابت می‌کنند. یکی دستگاه گاؤسی است که بسیاری از رابطه‌های فیزیک در سطح‌های بالا بر حسب آن‌ها بیان می‌شود. در کتاب‌های مقدماتی فیزیک از این دستگاه استفاده نمی‌شود. دستگاه دیگر، دستگاه بریتانیایی است که هنوز در انگلستان و کشورهای تابعه‌ی آن و همچنین در ایالات متحده‌ی آمریکا به کار می‌رود. برخی از یکاهای اصلی دستگاه بریتانیایی عبارت‌اند از: طول(فوت)، نیرو(پوند)، و زمان(ثانیه). جالب است بدانید با وجود آن‌که پوند یکای نیروست، غالباً به عنوان یکای جرم نیز به کار می‌رود. به‌طوری که هر پوند را معادل ۰/۴۵۳۶ کیلوگرم می‌گیرند. همچنین هر فوت معادل ۰/۳۰۴۸ متر است.خلبان‌ها هنگام پرواز، ارتفاع هواپیما از سطح زمین را برحسب این یکا بیان‌می‌کنند.

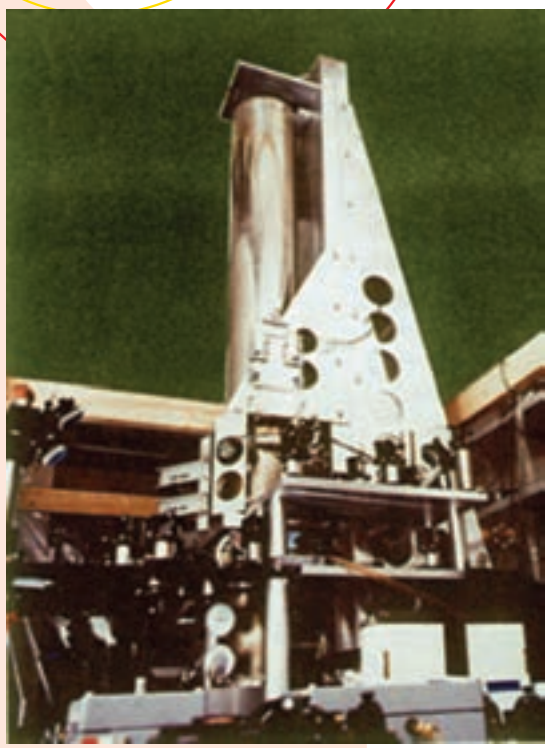
۱-۲ استانداردهای زمان، طول و جرم

زمـان: یکای زمان در SI ثانیه نام دارد که آن را با نماد s نمایش می‌دهند. برای تعیین یکای زمان و نیز ساخت وسیله‌ی اندازه‌گیری زمان همواره از پدیده‌های تکرار شونده استفاده می‌شود. حرکت زمین برای انسان ساعتی طبیعی بوده است. وقتی زمین به دور خورشید می‌چرخد، سال‌ها را می‌شمارد و وقتی به دور خود می‌چرخد (حرکت وضعی)، روزها را شمارش می‌کند. برای مدت طولانی حرکت وضعی زمین مبنایی برای تعیین یکای زمان بود. مطابق این مبنا، هر شبانه‌روز یعنی مدتی که زمین یک بار به دور محورش می‌چرخد 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، $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ برابر مدتی که طول می‌کشد تا زمین یک بار به دور محور خود بچرخد، تعریف شد(شکل ۱-۲).

شکل ۱-۲ با چرخش همزمان زمین به دور خودش وخورشید روزها و فصل‌ها پدید می‌آید. شروع هرفصل در نیمکره شمالی در این شکل نشان داده شده است.

* این قسمت‌ها برای مطالعه‌ی بیش‌تر دانش‌آموزان است و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرند.

به علت آن‌که 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.



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.

جدول ۱-۲ برخی از زمان‌های اندازه‌گیری شده‌ی تقریبی

اندازه‌گیری	زمان (s)
سن تقریبی عالم	۵×۱۰^{۱۷}
سن تقریبی زمین	$۱/۴ \times ۱۰^{۱۷}$
سن متوسط انسان	۲×۱۰^{۹}
یک سال	$۳/۱ \times ۱۰^{۷}$
یک شبانه‌روز	$۸/۶ \times ۱۰^{۴}$
زمان متوسط بین دو ضربان قلب سالم	۸×۱۰^{-۱}

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 آن‌جایی‌که 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 $6400\,km$ یعنی برابر $6400000\,m$ است. یا جرم یک گلبول قرمز برابر $0/000000000009\,kg$ است. بدیهی است نوشتن و خواندن این‌گونه عددها دشوار است و موجب اشتباه نیز می‌شود. در نمادگذاری علمی هر مقدار را به صورت حاصل‌ضرب عددی بین ۱ و ۱۰ و توان صحیحی از ۱۰ می‌نویسند. برای مثال شعاع زمین به صورت $6/4\times10^{6}\,m$ و جرم یک گلبول قرمز به صورت $9\times10^{-14}\,kg$ 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 (هـ . 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 یکاهایی 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 ـ ایریدیم که در موزه ای نزدیک پاریس نگه‌داری می‌شود.

جدول ۱-۳ برخی از یکاهای 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 (μm)	۰/۰۰۰۰۰۱ یا 10^{-6}
۱ نانومتر (nm)	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱ یا 10^{-9}

بیش‌تر بدانید

- وسایل اندازه‌گیری

جدول ۱-۴ گستره‌ی برخی از طول‌های اندازه‌گیری شده

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

شبیه‌سازی

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

مثال ۱-۱

میکرومتر (μm) اغلب میکرون نامیده می‌شود. با توجه به جدول‌های ۱-۳ و ۱-۴، اندازه‌ی یک ویروس چند میکرون است؟

حل: با توجه به جدول ۱-۳، هر میکرومتر یا میکرون برابر 10^{-6} m است، بنابراین، با توجه به جدول ۱-۴ اندازه‌ی یک ویروس ۱ μm یا یک میکرون است.

فعالیت ۱-۲

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ cm و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. حساب کنید قطر زمین تقریباً چند ذرع و چند فرسنگ است؟ قطر متوسط زمین را ۱۲۸۰۰ km بگیرید (شکل ۱-۵).

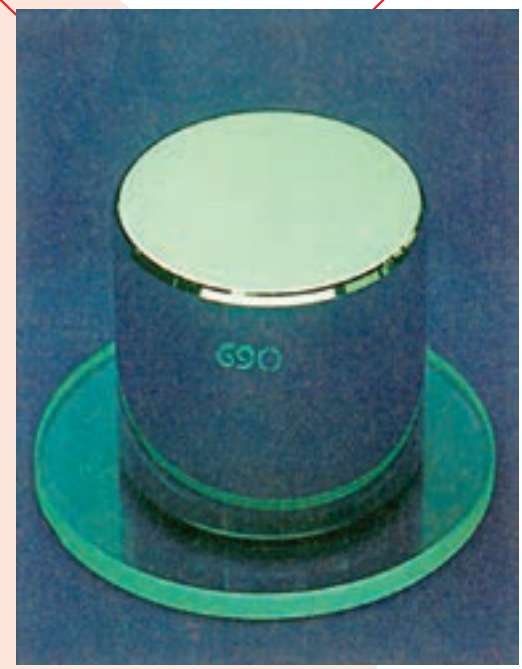
شکل ۱-۵

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=۳/۶ cm و b =۲/۴ cm اندازه‌گیری شده باشد مساحت مستطیل با توجه به رابطه‌ی A=ab برابر $8/64\ cm^2$ می‌شود. اما با توجه به این‌که دقت ابزار اندازه‌گیری ما، یعنی خط‌کش، تنها تا میلی‌متر بوده است لذا باید گفت مساحت مستطیل $A = 8/6\ cm^2$ است. به عبارت دیگر وقتی مساحت A را برابر $8/64\ cm^2$ گزارش می‌دهیم، نتیجه را با دقتی بیان کرده‌ایم که ابزار اندازه‌گیری ما فاقد آن دقت بوده است.

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



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

جدول ۱-۵ گستره‌ی برخی از جرم‌های اندازه‌گیری شده

جسم	جرم (kg)
کهکشان راه شیری	۲×۱۰^{۴۱}
خورشید	۲×۱۰^{۳۰}
زمین	۶×۱۰^{۲۴}
ماه	۷×۱۰^{۲۲}
فیل (معمولی)	۵×۱۰^{۳}
انسان (معمولی)	۶×۱۰^{۱}
حبه‌ی انگور	۳×۱۰^{-۳}
ذره‌ی خاک	۷×۱۰^{-۱۰}
ویروس	۱×۱۰^{-۱۵}
پروتون	۲×۱۰^{-۲۷}
الکترون	۹×۱۰^{-۳۱}

فعالیت عملی

- آشــنایی بــا برخــی از وســایل اندازه‌گیری

شبیه‌سازی

- تبدیل یکاها
- از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های کوچک

ترازوی حکمت

ترازوی حکمت یکی از جالب ترین وسایل ساخته شده به وسیله ی دانشمندان اسلامی به شمارمی رود. 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 می داده اند، 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.

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 خروار= ۱۰۰ من تبریز

۱ من تبریز= ۴۰ سیر= ۶۴۰ مثقال

۱ مثقال= ۲۴ نخود= ۹۶ گندم

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

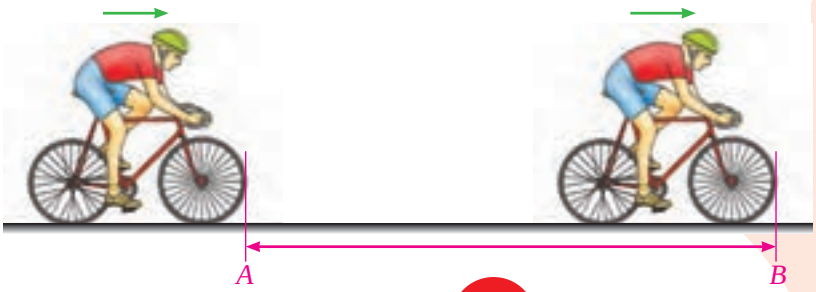
این فعالیت را در خانه و به کمک دیگر اعضای خانواده‌ی خود انجام دهید و گزارشی از آن تهیه کنید و به کلاس درس ارایه دهید.

۱-۳ کمیت‌های فیزیکی

برای بررسی و مطالعه‌ی پدیده‌های فیزیکی به طور کمّی، از یک دسته کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم، به‌طوری‌که 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 به‌طور غیر مستقیم کمیت موردنظر را اندازه بگیریم. به کمیت‌هایی که روشی مستقیم برای اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد، کمیت‌های فرعی گفته می‌شود. برای مثال درعلوم 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 دوچرخه سوار را به دست



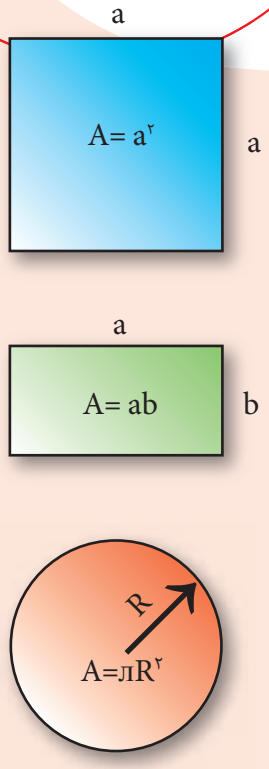
شکل ۱-۷ دوچرخه سوار طی زمان معینی فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی A و B را طی کرده است.

آوریم.به این ترتیب یکای سرعت متوسط از تقسیم دو یکای اصلی به دست می‌آید ودر SI یکای آن متر بر ثانیه (m/s) است. مساحت و حجم از کمیت‌های فرعی دیگری هستند که پیش از این با چگونگی اندازه‌گیری یا محاسبه‌ی آن‌ها آشنا شده‌اید. همان‌طور که به یاد دارید برای محاسبه‌ی مساحت سطح یک جسم که شکل هندسی منظم دارد، می‌توانیم از رابطه‌ی مربوط به مساحت آن سطح استفاده کنیم. مثلاً مساحت مستطیلی به ضلع‌های a و b برابر $A= ab$ و مساحت یک قرص دایره‌ای 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 می‌شود(شکل ۱-۸). سانتی‌متر مربع cm^2 واحد دیگری برای مساحت است که به صورت زیر با متر مربع رابطه دارد:

$$1m^2=100cm\times100cm=10^4cm^2$$

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 می‌شود. یکاهای دسی‌متر مکعب (لیتر) و سانتی متر مکعب، یکاهای کوچک‌تر از متر مکعب‌اند که به صورت زیر با یکدیگر رابطه دارند:

$$1m^3=10^3\ lit=10^6cm^3$$



شکل ۱-۸ مساحت چند شکل منظم

شکل ۱-۹

فعالیت ۱-۴

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

۱-۴ کمیت‌های نرده‌ای و برداری

در بخش قبل دیدیم که برخی از کمیت‌های فیزیکی مانند جرم، زمان و طول را که در SI کمیت‌های اصلی نامیده می‌شوند می‌توان به‌طور مستقیم اندازه گرفت. همچنین تعداد بسیاری دیگر از کمیت‌ها مانند حجم، سرعت، نیرو، انرژی، توان و ... را که در SI کمیت‌های فرعی نامیده می‌شوند تنها به‌طور غیرمستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. به این ترتیب کمیت‌های فیزیکی با توجه به چگونگی اندازه‌گیری آن‌ها،که می‌تواند مستقیم یا غیرمستقیم باشد، به کمیت‌های اصلی و فرعی رده‌بندی می‌شوند. از سوی دیگر کمیت‌های فیزیکی به دو نوعِ **نرده‌ای** و **برداری** نیز تقسیم می‌شوندکه در ادامه با این تقسیم‌بندی بیش‌تر آشنا خواهیم شد.

کمیت‌های نرده‌ای: کمیت‌هایی مانند جرم یک جسم، تعداد صفحه‌های یک کتاب، حجم یک اســتخر، مساحت حیاط مدرسه‌ی شــما، 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، تقســیم 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، ســه لیتر آب در ظرف خواهیم داشت:

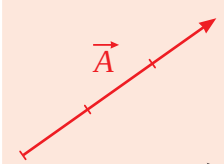
۳ لیتر = ۲ لیتر + ۱ لیتر

شکل ۱-۱۰

کمیت‌های برداری: فرض کنید از دانش‌آموزی پرسیده شود که فاصله‌ی خانه تا مدرسه‌اش چقدر اســت؟ و او بگوید «۱۲۵۰ متر». آیا با این پاســخ می‌توان با پیمودن یک مســیر دلخواه به مســافت ۱۲۵۰ متر از خانه‌ی او به مدرســه‌اش رســید؟ آشکار است که پاســخ منفی است، زیرا نقطه‌های زیادی هســتند که فاصله‌ی آن‌ها از خانه‌ی او ۱۲۵۰ متر است(شــکل 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.

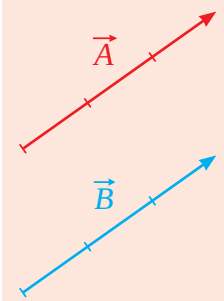
در فیزیــک کمیت‌هایی وجود دارد که افزون بر مقدار یا اندازه، دارای جهت نیز هســتند و جمع آن‌ها نیز از قاعده‌های معینی پیروی می‌کند. به این کمیت‌ها، کمیت‌های برداری گفته می‌شــود. جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو از جمله کمیت‌های برداری هستند که در فصل‌های بعدی با آن‌ها بیش‌تر آشنا خواهیم شد.

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).



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

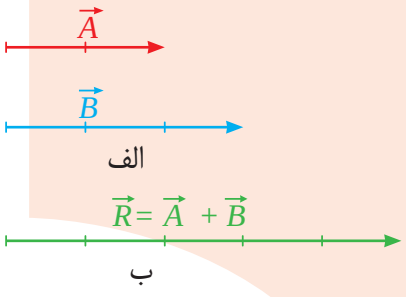
در صورتی که اندازه و جهت دو بردار مطابق شــکل ۱-۱۲ یکســان باشــد، دو بردار را مســاوی می‌نامند و می‌توان نوشت $\vec{A} = \vec{B}$.



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

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

در صورتی که دو بردار در یک راســتا باشــند افزون بر بزرگی آن‌ها، به جهت آن‌ها نیز باید توجه کنیم. شــکل ۱-۱۳ الف دو بردار موازی هم جهت $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را نشــان می‌دهــد 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

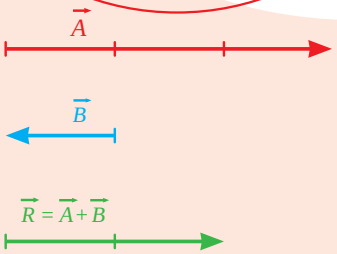


شــکل ۱-۱۳ جمع دو بردار موازی و هم‌جهت از قاعده‌ی جمع معمولی پیروی می‌کند.

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

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

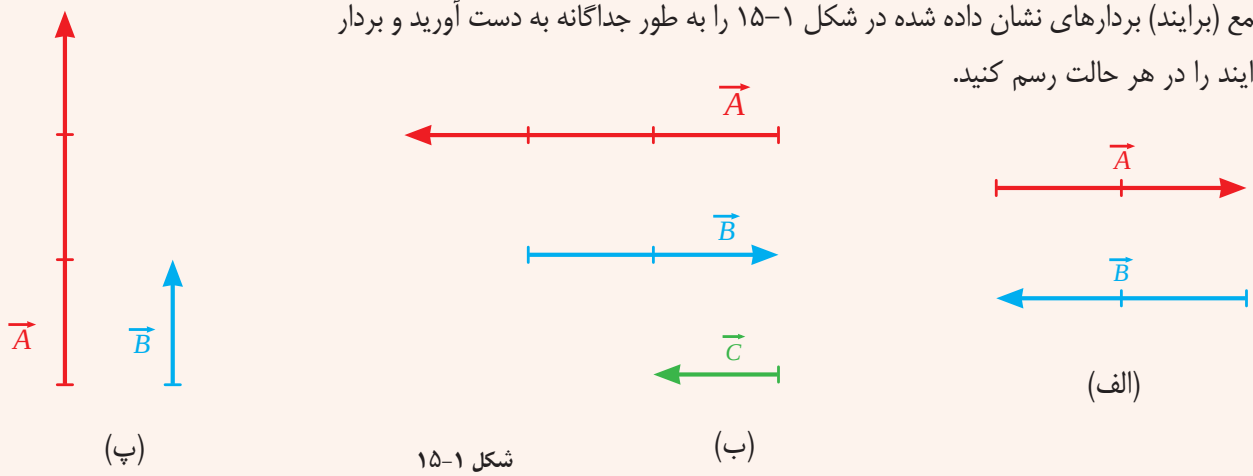
شکل ۱-۱۴ الف دو بردار موازی و غیر هم‌جهت $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را نشان می‌دهد که بزرگی آن‌ها به ترتیب ۳ و ۱ واحد است. بردار $\vec{R}$ در شکل ۱-۴ ب، جمع این دو بردار را نشان می‌دهد که بزرگی آن برابر ۲ واحد و در جهت بردار بزرگ‌تر، یعنی بردار $\vec{A}$ است. معمولاً $\vec{R}$ را، بردار برایند $\vec{A}$ و $\vec{B}$ نیز می‌نامند.



شکل ۱-۱۴ جمع دو بردار موازی و غیرهم‌جهت از قاعده‌ی جمع جبری پیروی می‌کند. بزرگی بردا $\vec{R}$ برابر A-B است. علامت منفی نشان می‌دهد که جهت بردار $\vec{B}$ برخلاف جهت بردار $\vec{A}$ است.

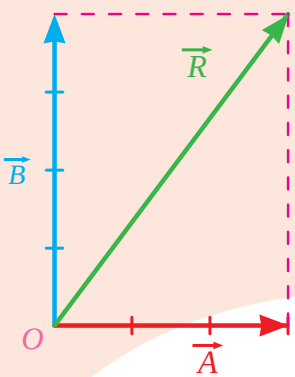
تمرین ۱-۱

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



شکل ۱-۱۵

در حالت‌های خاص دیگری که دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ بر هم عمود باشند، اندازه‌ی برایند آن‌ها $\vec{R}$، به سادگی و از طریق محاسبه به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۱-۱۶ نشان داده شده است برای به دست آوردن برایند دو بردار عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$، ابتدا آن‌ها را از نقطه‌ی مشترک O رسم کرده و سپس از انتهای دو بردار خط‌چین‌هایی موازی هر بردار رسم می‌کنیم. برداری که از نقطه‌ی O به محل برخورد این دو خط‌چین رسم می‌شود، برایند $\vec{R}$، دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ است. به این ترتیب داریم:



شکل ۱-۱۶

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

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

مثال ۱-۲

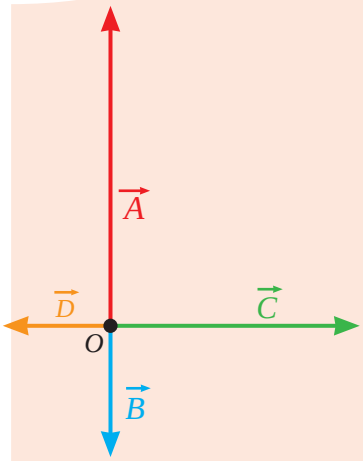
شکل ۱-۱۷ چهار بردار عمود بر هم $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ ، $\vec{C}$ ، $\vec{D}$ را نشان می‌دهد که از نقطه‌ی مشترک O رسم شده‌اند. اگر اندازه‌ی این بردارها به ترتیب ۱۳، ۵، ۱۰ و ۴ واحد باشد، اندازه‌ی بردار برایند آن‌ها چند واحد است؟

حل: شکل ۱-۱۸ بردارهای برایند $\vec{R}_1$ و $\vec{R}_2$ را در دو راستای قائم و افقی نشان می‌دهد، به‌طوری که داریم:

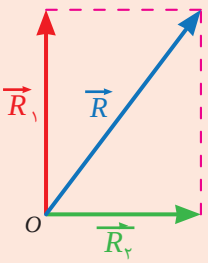
$$\vec{R}_1 = \vec{A} + \vec{B} \quad \text{و} \quad \vec{R}_2 = \vec{C} + \vec{D}$$

با توجه به این که اندازه‌ی بردارهای $\vec{R}_1$ و $\vec{R}_2$ به ترتیب ۸ و ۶ واحد است، خواهیم داشت:

$$R^2 = R_1^2 + R_2^2 = 8^2 + 6^2 \Rightarrow R = \sqrt{100} = 10 \text{ واحد}$$



شکل ۱-۱۷



شکل ۱-۱۸

تمرین ۱-۲

اندازه‌ی برایند 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؟

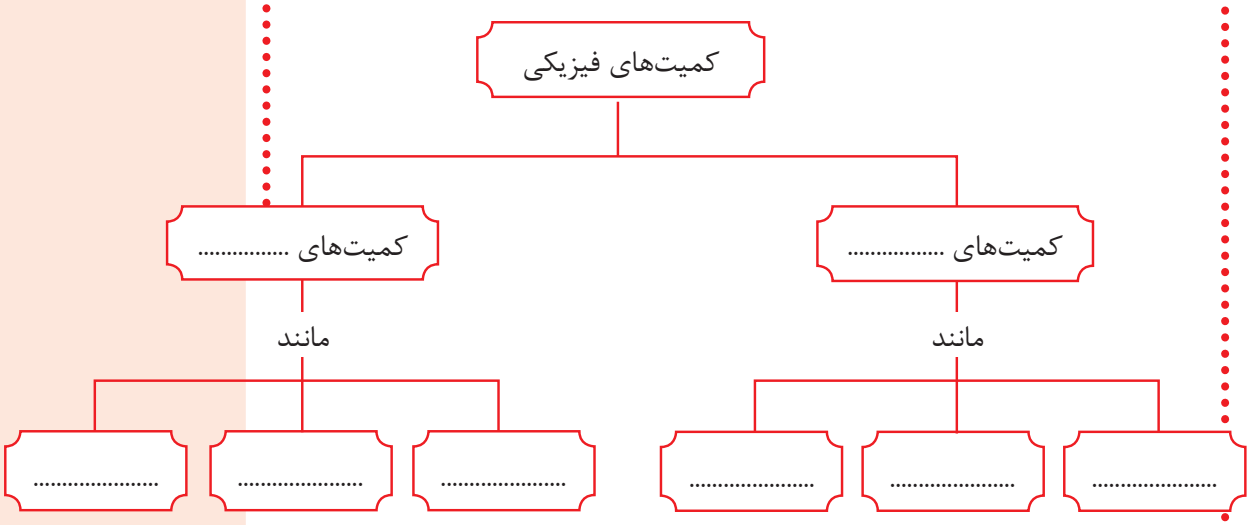
شبیه‌سازی

- جمع برداری
- تفریق برداری

پرسش‌های مفهومی

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

اصلی، فرعی، زمان، انرژی، طول،سرعت،جرم، نیرو



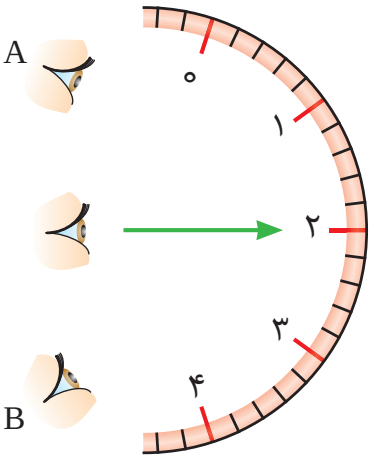
۲- گالیله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکراری در طبیعت نام ببرید که می‌توانند به عنوان استانداردهای منطقی زمان به‌کار روند.

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 ایرانی‌هادر 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 سنجه‌ی 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 $10^4\ m^2$ تعریف شده است . مساحت کره‌ی زمین تقریباً چند هکتار است؟ (شعاع زمین را ۶۴۰۰km بگیرید.)

۲- اگر در هر قدم ۰/۶ m جلو بروید، برای پیمودن 1km چند قدم باید بردارید؟

۳- مناسب‌ترین زمان برای هر جلسه کلاس درس حدود ۵۰ دقیقه است. هر جلسه کلاس درس چند میکروقرن است؟

۴- دریای نور به جرم ۱۸۲ قیراط، یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته‌شده در ایران است. این الماس به رنگ بسیار کمیاب صورتی شفاف است و در سال ۱۱۱۸ 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 ۱۰۸ قیراط دارد و هم‌اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به این‌که هر قیراط معادل ۲۰۰ میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟

۵- الف) اگر قلب شما در هر دقیقه ۷۰ بار بزند، در سال چند بار می‌زند؟

ب) اگر قلب شما در هر ثانیه $92cm^3$ خون تلمبه کند و حجم کل خون شما ۵/۵ لیتر باشد، چه مدت طول می‌کشد تا این‌که خون شما در دستگاه گردش خون یک دور کامل بزند؟(توجه کنید که: $1lit = 1000cm^3$)

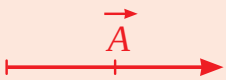
۶- اگر جرم $1cm^3$ آب 1g باشد، جرم $1m^3$ آب را بر حسب کیلوگرم پیدا کنید.

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

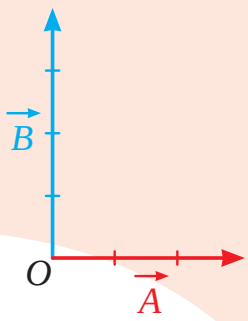
۸- برایند دو بردار عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برابر ۲۰ واحد است. اگر نسبت اندازه‌های بردار $\vec{A}$ به بردار $\vec{B}$ برابر $\frac{3}{4}$ باشد، اندازه‌ی بردار $\vec{A}$ چند واحد است؟

۹- بردار $\vec{A}$ به طول ۲ واحد در شکل ۱-۲۰ رسم شده است. بردار $\vec{A}$ 3/5 را رسم کنید.

۱۰- برای دو بردار عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در شکل ۱-۲۱ داریم A =۳ و B =۴ واحد. بزرگی برایند این دوبردار را پس از رسم، یک‌بار با محاسبه و بار دیگر با خط‌کش به دست آورید.



شکل ۱-۲۰



شکل ۱-۲۱

فصل ۱

حرکت روی خط راست

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

سیمای فصل

۲-۱ مکان و جابه‌جایی

۲-۲ سرعت متوسط

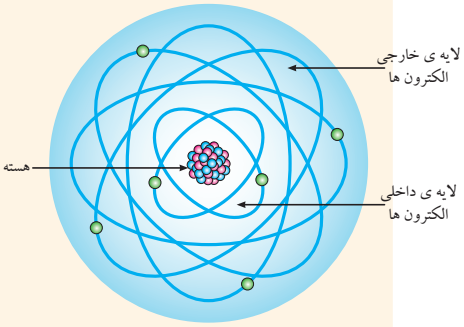
۲-۳ حرکت یکنواخت روی خط راست

۲-۴ شتاب

۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

۲-۶ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها



حرکت روی خط راست

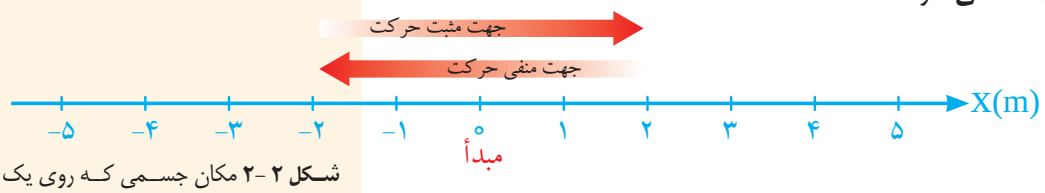
جهان و هرچه در اوست همواره در حرکت‌اند. زمین، افزون بر آن‌که به دور خود می‌چرخد، به دور خورشید نیز دوران می‌کند. خورشید به دور مرکز کهکشان راه شیری وکهکشان راه شیری نسبت به کهکشـان‌های دیگر حرکت می‌کند. کوچک‌ترین جزء سازنده‌ی ماده، یعنی اتم، از ذره‌های بسیار ریزی تشکیل شده است که آن‌ها نیز همواره درحرکت‌اند(شکل۲-۱).

در این فصل علاوه بر آشـنایی با مفاهیم بنیادی حرکت به توصیف و بررسی حرکت جسم روی خط راست نیز خواهیم پرداخت.

شکل۲-۱ حرکت اجسام در مقیاس‌های بسیار کوچک و بسیار بزرگ

۲-۱ مکان و جابه‌جایی

برای بررسـی حرکت هر جسـم ابتدا لازم است مکان آن را نسبت به یک **نقطه‌ی مرجع** تعیین کنیم. در صورتی که حرکت جسـم در یک بعد و روی خط راست باشد نقطه‌ی مرجع اغلب **مبداء** (یـا نقطه‌ی صفر) محوری مانند محور X در شـکل ۲-۲ در نظر گرفته می‌شـود. **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.



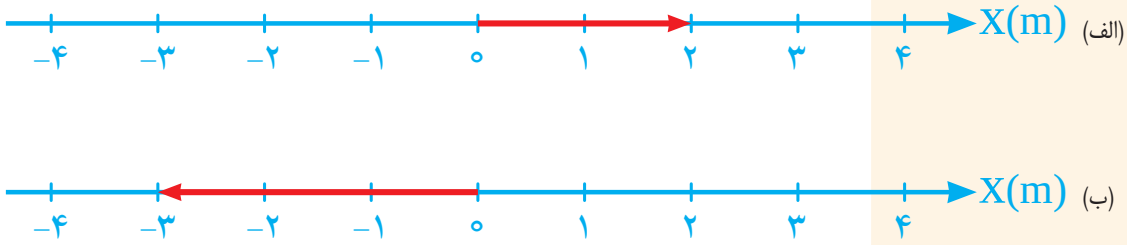
شـکل ۲-۲ مکان جسـمی کـه روی یک محور تعیین می‌شـود بر حسب یکای طول(در اینجا متر) نشانه‌گذاری می‌شود و در دو جهت تـا بی‌نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا X، همواره در قسمت مثبت مبدأ قرار دارد.

به عنوان مثال، اگر ذره‌ای در $X=۴m$ قرار داشـته باشـد، به معنای آن است که به فاصله‌ی ۴m در طرف مثبت مبدأ قرار دارد. اگر ذره در$X=-۴m$ باشد، در این صورت به همان فاصله از مبدأ ولی در طرف مخالف واقع اسـت. در صورتی‌که ذره‌ای در طرف مثبت مبدأ قرار داشته باشد لزومی ندارد علامت مثبت را برای مختصه‌ی مکان بگذارید ولی در صورتی‌که ذره یا جسم در سمت منفی مبدأ باشد علامت منفی **حتماً** باید برای مختصه‌ی مکان نشان داده شود.

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

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

شـکل ۲-۳ الف و ب بردار مکان مربوط به ذره‌ی متحرکی را به ترتیب در مکان‌های $x = ۲m$ و $x = -۳m$ نشان می‌دهد.



شـکل ۲-۳ بـردار مـکان از مبـداء مختصـات بـه مکان جسم رسم می‌شود.

مثال ۲-۱

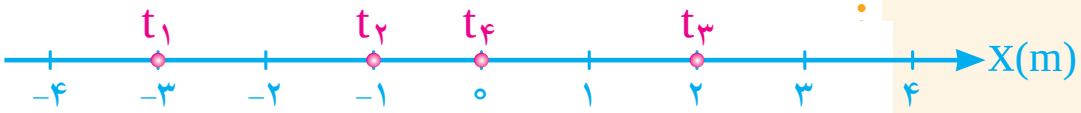
جسـمی که در امتداد محور x در حرکت اسـت در هریک از لحظه‌های $t_۱$، $t_۲$، $t_۳$ و $t_۴$ به ترتیب در مکان‌های $-۳m$ ، $-۱m$ ، $۲m$ و ۰ قرار دارد.

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 کـدام بـازه‌ی زمانی جهت حرکـت متحرک مثبت و در کدام بـازه‌ی زمانی منفی است؟

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



شکل ۲-۴

ب) مختصه‌ی $-۳m$ ، کوچک‌تر از $-۱m$ اسـت. همین‌طور مختصه‌ی $-۱m$ کوچک‌تر از ۰ و $۲m$ اسـت. بنابراین مختصه‌ی مکان متحرک به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر به‌صورت $-۳m$، $-۱m$، $۰m$ و $۲m$ است.

پ) در بـازه‌ی زمانـی $t_۱$ تا $t_۳$ جهت حرکت مثبت و در بازه‌ی زمانی $t_۳$ تا $t_۴$ جهت حرکت منفی است. توجه کنید در بازه‌ی زمانی $t_۳$ و $t_۴$ متحرک از مکان $x = ۲m$ به مکان $x = ۰$ برگشته است.

جابه‌جایی: تغییر مکان متحرک از $x_۱$ به مکان دیگر $x_۲$ ، **جابه‌جایی** Δx نامیده می‌شـود که برابر است با

$$\Delta x = x_۲ - x_۱$$

هرگاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند جابه‌جایی مثبت است (به سمت راست شکل ۲-۲)، و در صورتی‌که در جهت منفی محور x حرکت کند جابه‌جایی منفی است (به سمت چپ شکل ۲-۲).

برای مثـال، اگرذره‌ای از $x_1=4m$ به $x_2=11m$ حرکـت کند، آنگاه $\Delta x=(11m)-(4m)=+7m$.
نتیجـه‌ی مثبت بدان معناسـت که حرکت یا جابه‌جایی در جهت مثبت بوده اسـت. ولی اگر ذره‌ای از $x_1=4m$ بـه $x_2=1m$ برود، آنگاه $\Delta x=(1m)-(4m)=-3m$. نتیجه‌ی منفی نشـان می‌دهد که حرکـت یـا جابه‌جایی ذره در جهت منفی بوده اسـت. نکته‌ی مهمی که در اینجـا 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 $x=3m$ تا $x=15m$ حرکت کند و سپس به $x=3m$ برگردد، دراین صورت جابه‌جایی از آغاز تا پایان حرکت برابر است با $\Delta x=(3m)-(3m)=0$.
همان‌طورکه دیده می‌شـود مسافت پیموده شده توسـط متحرک $24m$ است (چرا؟) در صورتی‌که جابه‌جایی آن صفر اسـت. زیرا به مکان اولیه‌ی خود بازگشـته است. علامت مثبت جابه‌جایی لازم نیسـت نشان داده شـود ولی علامت منفی باید همواره نشـان داده شود. برای مثال $\Delta x=+3m$ و $\Delta x=3m$ هردو به‌معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی $3m$ در جهت مثبت محور x اسـت در صورتی‌که $\Delta x=-3m$ به‌معنـای جابه‌جایـی به انـدازه‌ی $3m$ در جهت منفی محور x اسـت. به این ترتیب همان‌طور که دیده می‌شود **اندازه** یا **بزرگی** جابه‌جایی‌های $\Delta x=3m$ و $\Delta x=-3m$ مساوی و برابر $3m$ است در حالی‌که جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است. بنابراین

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

هشـدار: توجـه کنیـد کـه Δx حاصـل ضـرب Δ در x نیسـت، بلکـه ایـن یک تک‌نماد است با معنای «تغییر در کمیت x». همواره بـرای نمایش تغییر در یک کمیت از حرف یونانی Δ (دلتا) اسـتفاده می‌کنیم. تغییـر در یک کمیت برابر اسـت با مقدار پایانـی کمیت منهای مقـدار آغازی آن و هرگزبرعکس نیست.

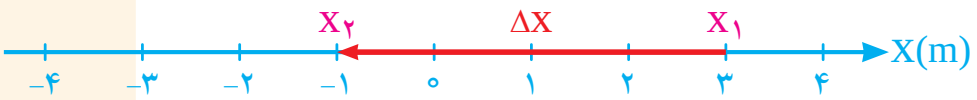
شبیه‌سازی

- بردار جابه‌جایی

مثال ۲-۲

مکان آغازی و پایانی ذره‌ی متحرکی به ترتیب $x_1=3m$ و $x_2=-1m$ است. بردار جابه‌جایی این متحرک را روی محور xها نشان دهید.

حل: کافی اسـت مکان آغازی و پایانی متحرک را روی محور x تعیین و سـپس این دو نقطه را توسط یک بردار به هم وصل کنیم.



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

در پایان این بخش نگاهی خواهیم داشت به این‌که 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 حالی‌که 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.** به‌طور 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

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

که در این رابطه $\overline{v}$ 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 مبداء 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

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

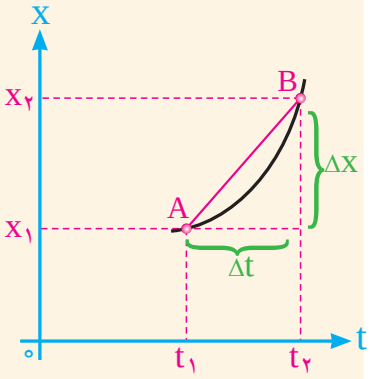
با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم

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

توجه کنید که مقدار سرعت متوسط 4m/s و جهت آن به طرف مثبت محور x است.

مثال ۲-۴

مکان جسمی را که روی یک خط راست، مثلاً محور x ها، حرکت می‌کند می‌توان مانند شکل ۲-۷ بر حسب زمان روی نموداری رسم کرد. نمودار حاصل را نمودار مکان- زمان و یا به اختصار نمودار x-t می‌نامند. در این نمودار محور افقی برای نشان دادن زمان به کار رفته است و مبداء آن، با عدد صفر مشخص شده است. همین‌طور محور قائم برای نشان دادن مکان جسم به کار رفته است.



شکل ۲-۷

الف) مزیت این نمودار چیست؟

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

حل: الف) از نمودار مکان- زمان می‌توان 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 درنظر 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 پاره‌خط AB برابر است با:

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

که در واقع همان سرعت متوسط متحرک است.

مثال ۲-۵

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

حل: ابتدا مکان متحرک را در دو لحظه‌ی مورد نظر پیدا می‌کنیم:

$$x_1=2(2)^2-2+4=10m$$

$$x_2=2(4)^2-4+4=32m$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

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

هشدار: همواره یکاها را در محاسبه‌های خود بنویسید. هنگامی که در یک مسئله به انجام محاسبه‌هایی با استفاده از عددها ویکاها نیاز باشد **همواره** عددها را با یکاهای درست بنویسید و با یکاها در تمام محاسبه‌ها مانند مثال ۲-۵ رفتار کنید. این کار آزمون بسیار مفیدی برای محاسبه‌هاست. اگر در مرحله‌ای از یک محاسبه دریافتید که یک معادله یا رابطه دارای یکاهای ناسازگار است متوجه می‌شوید که در جایی اشتباه کرده‌اید. در این کتاب همواره یکاها را در تمامی محاسبه‌ها وارد می‌کنیم و به شما قویاً توصیه می‌کنیم که هرگاه مسئله‌ای حل می‌کنید همین کار را انجام دهید.

مثال ۲-۶

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.

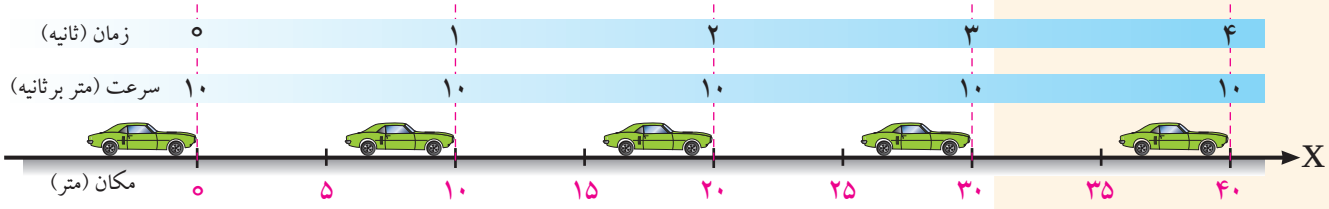
فعالیت ۲-۱

در صورتی‌که 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. به‌طوری‌که 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 $v=\overline{v}$. با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

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



شکل ۲-۸ حرکت یکنواخت اتومبیلی در امتداد محور x

اگر لحظه‌ی t_1 را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1=0$ ، و مکان اولیه‌ی متحرک را نسبت به مبدأ 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.

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

سرعت متوسط $\overline{v}=\Delta x/\Delta t$ (m/s)	جابه‌جایی Δx (m)	بازه‌ی زمانی Δt (s)	لحظه‌ی پایانی t_2(s)	لحظه‌ی آغازی t_1(s)
۱۰/۱=۱۰	۱۰-۰=۱۰	۱-۰=۱	۱	۰
۱۰/۱=۱۰	۲۰-۱۰=۱۰	۲-۱=۱	۲	۱
۲۰/۲=۱۰	۴۰-۲۰=۲۰	۴-۲=۲	۴	۲
۴۰/۴=۱۰	۴۰-۰=۴۰	۴-۰=۴	۴	۰

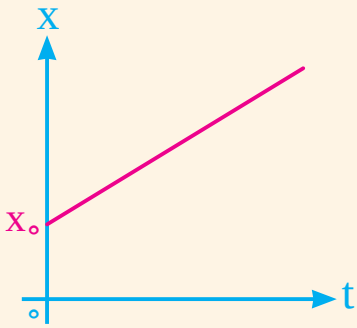
آزمایشگاه مجازی

- حرکت در یک بعد (مرد متحرک)

مثال ۲-۷

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 مبداء زمان متحرک در فاصله‌ی x_0 از طرف راست مبداء 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 ۲-۹ رسم شده است. روشن است که هرچه سرعت متحرک بیش‌تر باشد شیب نمودار مکان- زمان نیز بیش‌تر خواهد شد. (چرا؟)



شکل ۲-۹ نمودارمکان- زمان حرکت یکنواخت روی خط راست.دراین نمودار x_0 مقداری مثبت ودر طرف راست مبدأ است.

مثال ۲-۸

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 مبداء مکان می‌رسد؟

پ) نمودار مکان- زمان متحرک را رسم کنید.

حل: الف) مکان متحرک در لحظه‌های $t=0$ و $t=1s$ به‌ترتیب برابر است با:

$$x_1=x_0=12\times0-24=-24m$$

$$x_2=x=12\times1-24=-12m$$

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

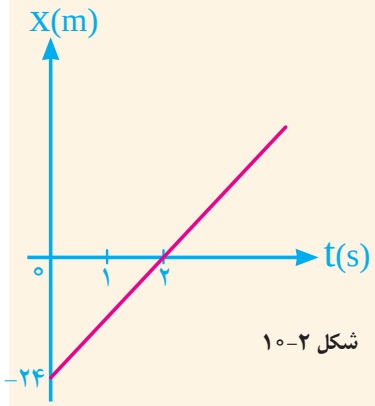
$$\Delta x=x-x_0=(-12m)-(-24m)=12m$$

ب) وقتی متحرک به مبداء مکان می‌رسد که $x=0$ باشد بنابراین با استفاده از معادله‌ی مکان- زمان در مبداء مکان داریم:

$$0=12t-24 \Rightarrow t=2s$$

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 (s)	x (m)
۰	-۲۴
۲	۰



شکل ۲-۱۰

مثال ۲-۹

اتومبیلی با سرعت ثابت ۷۲km/h در امتداد خط راست حرکت می‌کند. چه مدت طول می‌کشد تا جابه‌جایی اتومبیل برابر ۵۰۰ متر باشد؟

حل: ابتدا یکای سرعت را از km/h به m/s تبدیل می‌کنیم. درنتیجه داریم:

$$۷۲\frac{km}{h}=۷۲\times\frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=۷۲\times\frac{۱۰}{۳۶}\frac{m}{s}=۲۰m/s$$

با استفاده از معادله‌ی حرکت یکنواخت $x=vt+x_۰$ خواهیم داشت:

$$\Delta x=x-x_۰=vt \Rightarrow ۵۰۰m=(۲۰m/s)t \Rightarrow t=۲۵s$$

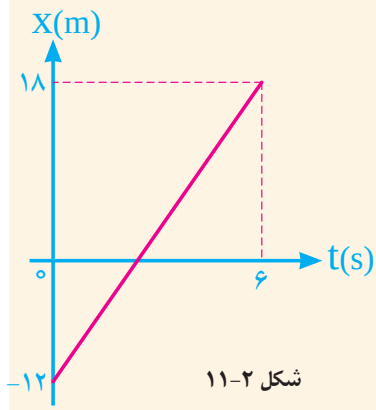
تمرین ۲-۱

شکل ۲-۱۱ نمودار مکان- زمان متحرکی را در ۶ ثانیه‌ی اول حرکت نشان می‌دهد.

الف) نوع حرکت متحرک را تعیین کنید.

ب) معادله‌ی حرکت متحرک را بنویسید.

پ) جابه‌جایی متحرک در ۲ ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟



شکل ۲-۱۱

۲-۴ شتاب متوسط

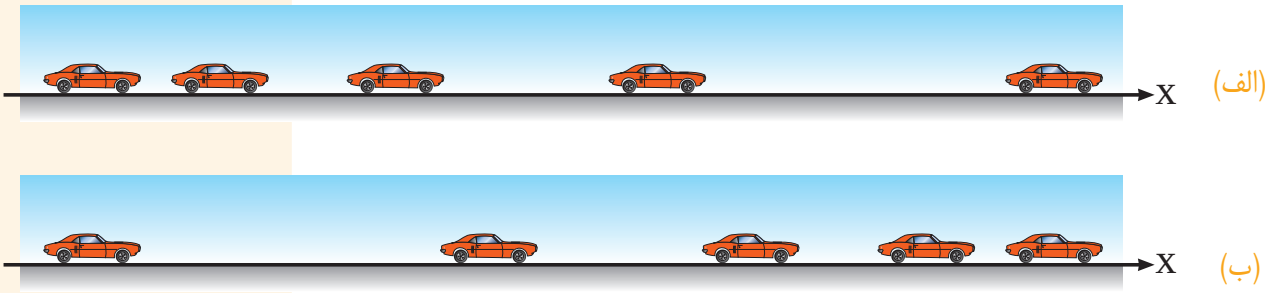
هرگاه سرعت متحرکی تغییر کند، گفته می‌شود که ذره شتاب گرفته یا حرکت آن شتابدار است (شکل ۲-۱۲). برای حرکت در راستای یک خط راست، **شتاب متوسط** $\bar{a}$ در بازه‌ی زمانی Δt عبارت است از:

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

$$\bar{a}=\frac{v_۲-v_۱}{t_۲-t_۱}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

که در آن متحرک در لحظه‌ی $t_۱$ دارای سرعت $v_۱$ و در لحظه‌ی $t_۲$ دارای سرعت $v_۲$ است. یکای شتاب در SI متر بر مجذور ثانیه است که با نماد $m/s^۲$ نشان داده می‌شود.

شـتاب نیز مانند جابه‌جایی و سـرعت کمیتی برداری اسـت؛ 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.



شـکل ۲-۱۲ حرکت شـتابدار اتومبیل ناشـی از افزایش سـرعت (شکل الف) و ناشی ازکاهش سرعت (شکل ب).

مثال ۲-۱۰

اتومبیلی از حال سکون در امتداد محور x شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸ ثانیه سرعت آن به ۲۴m/s می‌رسد. شتاب متوسط آن را حساب کنید.

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

$$\Delta v = v_2 - v_1 = (۲۴\ m/s) - (۰) = ۲۴ m/s$$

$$\Delta t = ۸ s$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۴ m/s}{۸ s} = ۳ m/s^2$$

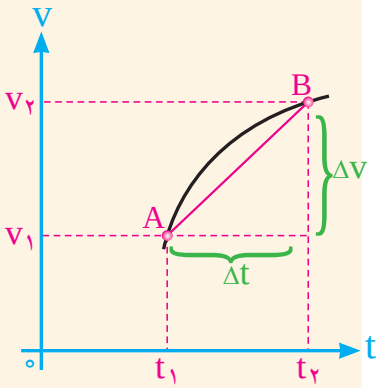
علامت مثبت نشان می‌دهد که شتاب اتومبیل در جهت مثبت محور x است.

مثال ۲-۱۱

اگر سرعت لحظه‌ای جسمی را که روی یک خط راست حرکت می‌کند مانند شکل ۲-۱۳ 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) شـیب پاره‌خط AB را در این نمودار به دسـت آورید و بگویید مقدار به دسـت آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟



شکل ۲-۱۳

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

ب) از این نمودار پیداست که شیب پاره‌خط AB برابر است با:

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

با توجه به تعریف شـتاب متوسط،شـیب پاره‌خط AB همان شتاب متوسط جسم در حال حرکت است.

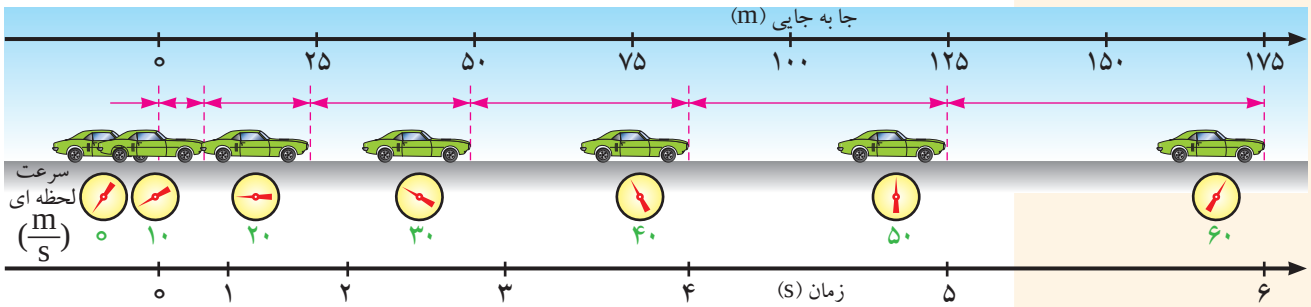
تمرین ۲-۲

شتاب متوسط متحرکی که در مدت ۰/۵ ثانیه سرعت آن از ۱cm/s به ۹۹cm/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 درهر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که دراین حرکت تغییر سرعت درهر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.



شکل ۲-۱۴ حرکت با شتاب ثابت

به این ترتیب درصورتی 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:

$$a=\bar{a}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}$$

اگر لحظه‌ی t_1 را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1=0$ ، 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

شتاب متوسط $\bar{a}=\Delta v/\Delta t(m/s^2)$	تغییر سرعت Δv (m/s)	بازه‌ی زمانی Δt (s)	لحظه‌ی پایانی t_2(s)	لحظه‌ی آغازی t_1(s)
۱۰/۱=۱۰	۱۰-۰=۱۰	۱-۰=۱	۱	۰
۱۰/۱=۱۰	۲۰-۱۰=۱۰	۲-۱=۱	۲	۱
۲۰/۲=۱۰	۵۰-۳۰=۲۰	۵-۳=۲	۵	۳

فعالیت عملی

- بررسی حرکت شتاب ثابت

شبیه‌سازی

- مقایسه‌ی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت

مثال ۲-۱۲

موتور سـواری با شتاب ثابت $۲m/s^۲$ بر مسیری مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. پس از ۱۰ ثانیه سرعت آن چقدر خواهد شد؟

حل: باتوجه به داده‌های مسئله داریم:

$$a = ۲m/s^۲ \quad \text{و} \quad v_۰ = ۰ \quad \text{و} \quad t = ۱۰s \quad \text{و} \quad v = ?$$

$$v = at + v_۰ = (۲m/s^۲)(۱۰s) + ۰ = ۲۰m/s$$

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 $۵۴km/h$ در حرکت است. راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از مدت ۱۰ ثانیه می‌ایستد. اگر شتاب اتومبیل در این مدت ثابت باشد مقدار آن را حساب کنید.

حل:

$$v_۰ = ۵۴km/h = ۵۴ \times \frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = ۱۵m/s$$

$$a = ? \quad \text{و} \quad v = ۰ \quad \text{و} \quad t = ۱۰s$$

$$v = at + v_۰ \Rightarrow ۰ = a \times (۱۰s) + (۱۵m/s) \Rightarrow a = -۱/۵m/s^۲$$

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

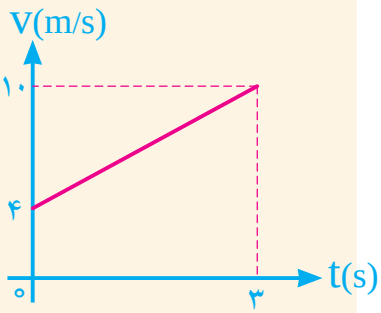
مثال ۲-۱۴

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 $t = ۲s$ چقدر است؟



شکل ۲-۱۵

حل: الف) با توجه به معادله‌ی $v=at+v_۰$ 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:

$$(t = ۰s \text{ و } v_۰ = ۴m/s) \quad \text{و} \quad (t = ۳s \text{ و } v = ۱۰m/s)$$

$$v = at + v_۰ \Rightarrow ۱۰m/s = a(۳s) + (۴m/s) \Rightarrow a = ۲m/s^۲$$

پس معادله‌ی v-t متحرک در SI به صورت $v = ۲t + ۴$ خواهد شد.

پ) در لحظه‌ی $t = ۲s$ داریم:

$$v = (۲m/s^۲) \times (۲s) + (۴m/s) = ۸m/s$$

هشدار: بسـیار مراقب باشـید که شتاب وسـرعت را باهم اشـتباه نگیرید. سرعت توصیـف می‌کنـد که مکان یک جسـم با زمـان چگونه تغییر می‌کنـد؛ می‌گوید که جسم چقدر سـریع و در چه جهتی حرکت می‌کند. شتاب توصیف می‌کند که سرعت چگونه با زمـان تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جهـت حرکـت و بزرگی سـرعت چگونه تغییر می‌کنند. به خاطر سـپردن این گزاره می‌تواند سـودمند باشد که « ارتباط شتاب با سـرعت همانند ارتباط سـرعت با مکان است.»

همچنین سـودمند است که خود را در حال راندن همراه با یک جسـم متحرک تصور کنیـد. اگر جسـم رو به جلو شـتاب بگیرد و سـرعت خود را افزایش دهد، احسـاس می‌کنید که در صندلی خود به عقب فشرده می‌شوید. اگر جسـم به عقب شتاب بگیرد واز سرعت خود بکاهد احساس می‌کنید که به جلو هُل داده می‌شوید. اگر سرعت ثابت باشد و شـتابی در کار نباشـد هیچ یک از این دو حس را نخواهید داشـت. (دلیل این احساس را در فصل بعد خواهید یافت.)

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

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

اگر در لحظه‌ی $t_1=0$ 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 جای‌گذاری $v=at+v_0$ در رابطه‌ی بالا داریم:

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

یا

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

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:

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

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 جای‌گذاری t در معادله‌ی مکان- زمان خواهیم داشت:

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0=\frac{1}{2}a\left(\frac{v-v_0}{a}\right)^2+v_0\left(\frac{v-v_0}{a}\right)+x_0$$

حکیم ابن سینا(۳۵۹ شمسی-۴۱۶ شمسی) که در غرب به اوی سینا (Avicenna) معروف است، در افشنه نزدیک بخارا متولد شد و در همدان وفات یافت. پدرش کارمند حکومت وقت بود و خانه‌اش محل ملاقات و گفت‌وگوی علاقه مندان علم و کمال. او هوش سرشاری داشت و به سرعت علوم زمان خود را فراگرفت و از۱۶سالگی به کارطبابت پرداخت.

ابن سینا در علوم گوناگون زمانه‌ی خود تالیف‌های بسیاری دارد و آثار او متجاوز از ۲۷۰ عنوان است. مهم ترین اثر فلسفی ابن‌سینا 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، هم چون دانشمندان یونانی، فیزیک را مطالعه‌ی اجسام طبیعی وحرکت‌می‌دانست.

ابن سینا معتقد بود که: «قوائی که در جسم جای گیرند بر سه نوع اند. برای مثال نوع اول قوائی است که درهمه‌ی اجسام سریان دارند وکمالات، 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 می گردانند و بدان وضع نگاهشان می‌دارند و این امر بدون معرفت و قصد اختیاری صورت می گیرد.» او هم چنین می گوید: « 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:

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

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 ۲–۱۶

قطاری از حال سکون و با شتاب ثابت $0/4m/s^2$ شروع به حرکت می‌کند. پس از جابه‌جایی $1km$، سرعت قطار چقدر است؟

حل:

$v=?$ و $x-x_0=1km=1000m$ و $a=0/4m/s^2$ و $v_0=0$

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

$$v^2-0=2(0/4m/s^2)(1000m) \Rightarrow v^2=800(m^2/s^2)$$

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

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

وی در زندگی نامه‌ای که خود نوشته است می گوید: 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. طبیبان این کتاب را (که بزرگ ترین اثر طبی ابن سیناست) بسیار می‌پسندیدند و آن را بر کتاب « حاوی » تالیف رازی و حتی آثار جالینوس ترجیح می دادند. در کتاب قانون ضمن شرح دستاوردهای عمده ی پزشکی روم و یونان، فهرست ۷۶۰ دارو و فراورده های پزشکی به طور نظام مند فراهم آمده است.

تمرین ۲–۲

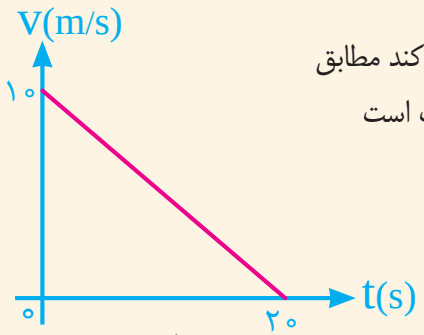
نمودار v–t متحرکی که بر مسیری مستقیم در امتداد محور x در حرکت می‌کند مطابق شکل ۲–۱۶ است. اگر در $t=0$ متحرک از مبداء مکان عبور کرده باشد، مطلوب است

الف) شتاب متحرک،

ب) معادله‌ی سرعت– زمان متحرک،

پ) سرعت متوسط متحرک در ۲۰ ثانیه‌ی اول حرکت،

ت) معادله‌ی مکان– زمان متحرک.



شکل ۲–۱۶

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 $9/8m/s^2$ است، که گاهی برای آسان کردن محاسبه، مقدار g را با تقریب برابر $10m/s^2$ 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

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

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

$$v=-gt$$

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

$$v^2=-2gy$$

شکل ۲-۱۷

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 $a \longrightarrow -g$ و $x \longrightarrow y$ جای‌گذاری شده است. دوباره تأکید می‌شود که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه، $(v_0=0)$، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مثال ۲-۱۷

گلوله‌ای از طبقه‌ی ششم ساختمانی رها می‌شود. مطلوب است $(g=10\,m/s^2)$

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.

حل: الف)

$$y=-\frac{1}{2}gt^2=-\frac{1}{2}\times(10\,m/s^2)(1s)^2=-5m$$

$$v=-gt=(-10\,m/s^2)(1s)=-10\,m/s$$

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

ب)

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

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

مثال ۲-۱۸

جسمی را از ارتفاع ۱۲۵ متری بالای سطح زمین رها می‌کنیم. مطلوب است $(g=10\,m/s^2)$،

الف) زمان سقوط آزاد جسم،

ب) سرعت متوسط سقوط آزاد جسم،

پ) جابه‌جایی جسم را بین دو لحظه‌ی $t_1=3s$ و $t_2=4s$ پیداکنید.

شبیه‌سازی

- حرکت سقوط آزاد

حل: الف) با توجه به شکل ۲-۱۸ داریم

$$y=-\frac{۱}{۲}gt^{۲}$$

$$-۱۲۵m=-\frac{۱}{۲}\times(۱۰m/s^{۲})\,t^{۲}$$

$$t^{۲}=۲۵\Rightarrow t=۵s$$

توجه کنید زمان همواره مقداری مثبت است.

ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v}=\frac{\Delta y}{\Delta t}=\frac{-۱۲۵m}{۵s}=-۲۵m$$

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 لحظه‌ی $t_۱=۳s$ برابر است با:

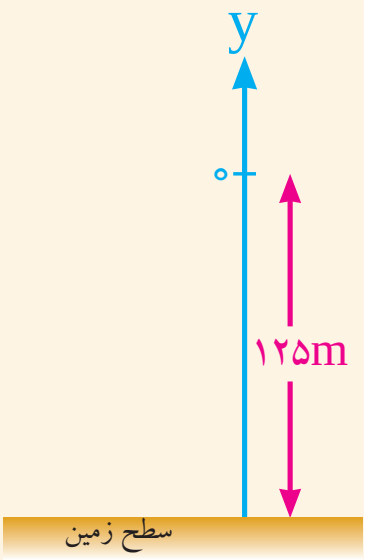
$$y_۱=-\frac{۱}{۲}(۱۰m/s^{۲})(۳s)^{۲}=-۴۵m$$

جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی $t_۲=۴s$ برابر است با:

$$y_۲=-\frac{۱}{۲}(۱۰m/s^{۲})(۴s)^{۲}=-۸۰m$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ برابر است با:

$$\Delta y=y_۲-y_۱=(-۸۰m)-(-۴۵m)=-۳۵m$$



شکل ۲-۱۸

تمرین ۲-۳

گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از ۱۰ ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟ $(g=۱۰m/s^{۲})$

بیش‌تر بدانید

- زمان تعلیق

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.

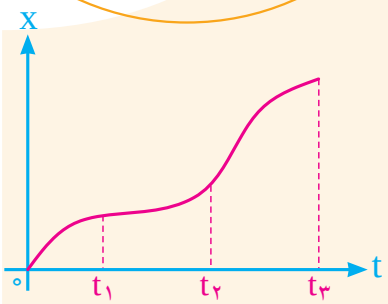
ب) اگر جسمی روی خط راست حرکت کند، معمولاً مبداء مختصات را روی خطی که جسم بر آن حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند. در این صورت بردارهای مکان و جابه‌جایی برآن خط (منطبق، عمود) هستند.

۳- در نمودار x-t شکل ۲-۱۹ سرعت متوسط متحرک را که در امتداد محور x حرکت می‌کند در بازه‌های($t_۲$ و $t_۱$) و ($t_۳$ و $t_۱$) با هم مقایسه کنید.

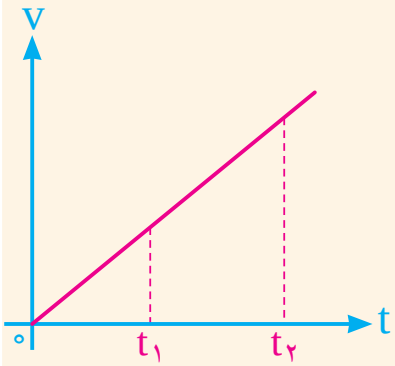
۴- الف) در حرکت یکنواخت روی خط راست شتاب حرکت چقدر است؟

ب) شکل ۲-۲۰ نمودار سرعت- زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ با هم مقایسه کنید.

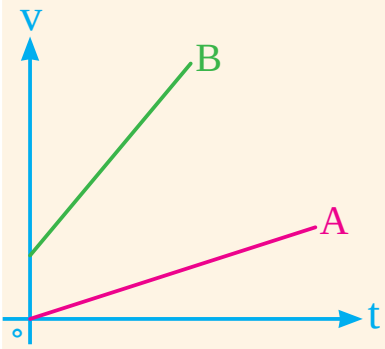
۵- نمودار v-t دو متحرک A و B در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



شکل ۲-۱۹



شکل ۲-۲۰



شکل ۲-۲۱

مسئله‌ها

۱- متحرکی روی خط راست در حرکت است. معادله‌ی مکان - زمان این متحرک به صورت $x=۲t+۳$ 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 $t_۱=۰$ و $t_۲=۳s$ و همچنین جابه‌جایی آن را بین این دو لحظه به دست آورید.

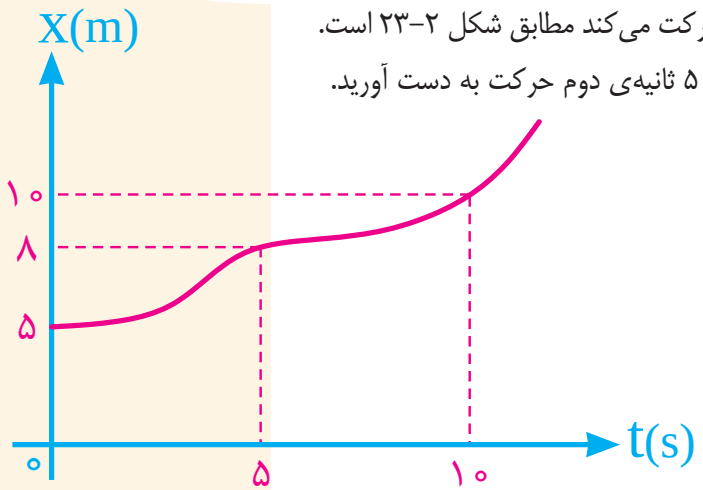
۲- دونده‌ای در لحظه‌ی t = ۰ (مبداء زمان) در مکان ۱۲m- و در لحظه‌ی $t=۴s$ در مکان ۲۴m+ است (شکل ۲-۲۲).

شکل ۲-۲۲

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

۴ـ معادله‌ی مکان ـ 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؟

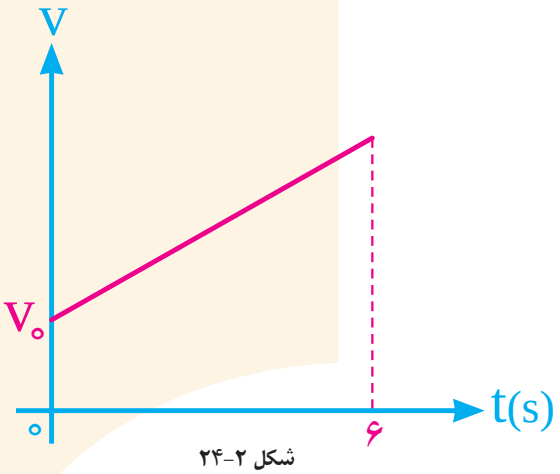
۶- سرعت موتورسواری در لحظه‌ی $t_1=2s$ برابر 36km/h و در لحظه‌ی $t_2=8s$ برابر 54km/h است. شتاب متوسط این موتورسوار چقدر است؟

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 18km/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 مبداء مکان عبور کرده است.



شکل ۲-۲۴

۹- گلولـه‌ای را از ارتفـاع ۸۰ متـری سـطح زمین در شـرایط خـلأ رها می‌کنیـم. با فرض $g = ۱۰ m/s^۲$

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 $۳۰ m/s$ به زمین برخورد می‌کند. ارتفاع بلندی چند متر است؟ $(g = ۱۰ m/s^۲)$

فصل ۱۱

نیرو و قانون‌های نیوتون

مفهوم پیکان‌های رسم شده روی شکل چیست و چرا در جهت‌های مختلف رسم شده‌اند؟

سیمای فصل

۳-۱ اثرهای نیرو

۳-۲ قانون‌های حرکت نیوتون

۳-۳ قانون‌های نیرو

۳-۴ اندازه حرکت (تکانه)

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

جـرم این هواپیمای نظامـی درحین پرواز می‌تواند تا ۲۶۵ تن باشد!

نیرو و قانون‌های نیوتون

در فصل دوم درباره‌ی حرکت اجسام به کمک کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت متوسط، سـرعت و شـتاب تا حدود زیادی صحبت کردیم ولی درباره‌ی این‌که چگونه جسـمی به حرکت در می‌آیـد یـا نوع حرکت آن چگونه تغییر می‌کند، بحثی به میان نیامد. در این فصل به بحث درباره‌ی علل حرکت خواهیم پرداخت و برای این منظور مفهوم‌های جرم و نیرو را معرفی می‌کنیم.

نیوتون نخسـتین دانشـمندی بود که پس از گالیله، به تفصیل و با روش علمی به بررسی حرکت اجسام و علل آن پرداخت. قانون‌های حرکت که بخش اساسی و مهم این فصل را تشکیل می‌دهند به نام قانون‌های نیوتون نام‌گذاری شده‌اند.

۳-۱ اثرهای نیرو

نیرو، یکی از مفهوم‌های مهم برای بررسـی علل حرکت جسـم است. در کتاب‌های علوم دوره‌ی ابتدایی و راهنمایی تا حدودی با این مفهوم آشـنا شده‌اید. برای شناخت و درک بهتر مفهوم نیرو به معرفی اثرهای نیرو بر یک جسم می‌پردازیم. شکل ۳-۱ اثرهای مختلف نیرو را بر یک جسم نشان می‌دهد. به عبارت «ممکن اسـت» در هر جمله توجه کنید، زیرا اعمال نیرو به یک جسـم «ممکن است» سبب تغییر مورد نظر شود.

شکل ۳-۱ 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 کند شدن حرکت آن شود.

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

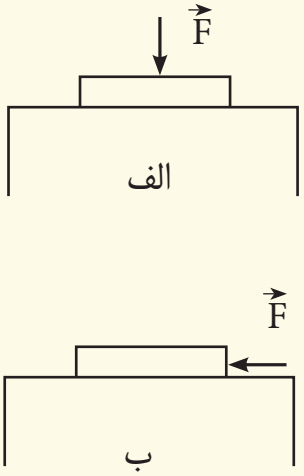
وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث توقف حرکت آن شود.

فعالیت ۳-۱

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 ۳-۱

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



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

ویژگی‌های 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 اندازه‌ی نیرو را افزایش دهید کتاب حرکتی نخواهد کرد (شکل ۳-۲ 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 ۳-۲ ب). این تجربه‌ی ساده نشان‌دهنده‌ی برداری بودن نیروست.

بزرگی یا اندازه‌ی نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. شکل ۳-۳ یک نیروسنج را نشان می‌دهدکه بر حسب یکای نیرو، یعنی نیوتون، درجه‌بندی شده است. نیوتون را با نماد N نشان می‌دهند. برای آن‌که تصوری از اندازه‌ی یک نیرو به دست آورید به مثال‌های شکل ۳-۴ توجه کنید.

شکل ۳-۳ درجه‌بندی روی نیروسنج بزرگی نیرو رانشان می‌دهد.

۳-۲ قانون‌های حرکت نیوتون

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

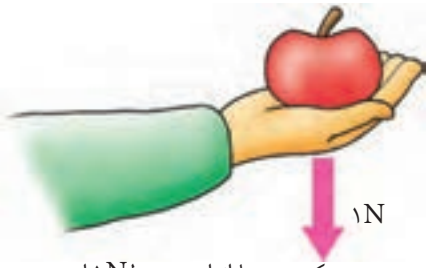
گالیله با انجام آزمایش و تعمیم ذهنی نتیجه‌های آزمایش نخستین کسی بود که در برداشت ارسطو از علل حرکت تردید کرد و بی‌نیازی حرکت یکنواخت اجسام به نیرو را ارائه داد.

نیوتون، دانشمند انگلیسی پس از بررسی‌های دقیق درباره‌ی حرکت اجسام و با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود سه قانون درباره‌ی حرکت اجسام ارائه کرد.

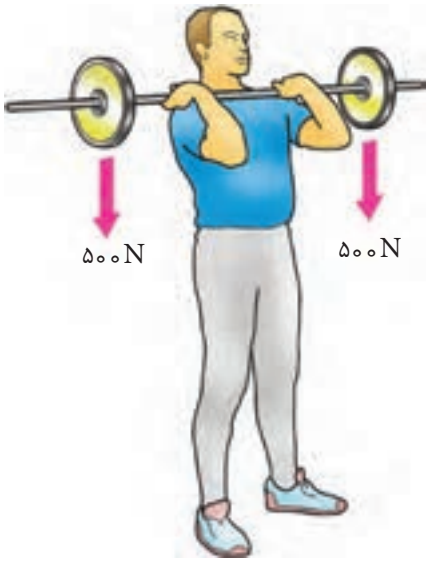
شکل ۳-۴ همه ما تقریباً تصوری از اندازه‌ی کمیت‌هایی مانند طول، جرم و زمان داریم. این شکل‌ها به ما کمک می‌کند تا تصوری از بزرگی یک نیرو نیز به دست آوردیم.

یک پرنده برای برداشتن یک کرم از روی زمین، نیرویی حدود ۰/۱N لازم دارد

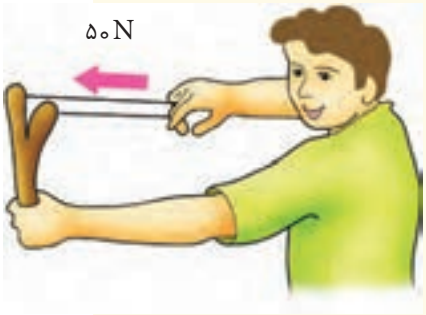
اسکی روی سراشیبی نیاز خیلی کمی به نیرو دارد، اما روی سطح زمین ممکن است به نیرویی حدود ۴۰۰N نیاز باشد.



وزن یک سیب با اندازه متوسط ۱N است. اگر شما یک سیب با اندازه متوسط را در دست خود نگه دارید، نیرویی برابر ۱N به طرف پایین روی دست خود احساس می‌کنید.

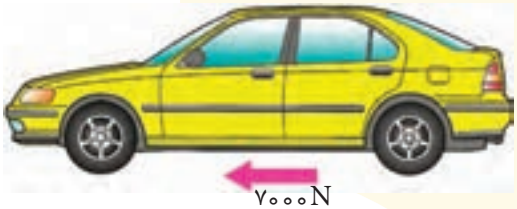


یک ورزشکار در حین وزنه برداری، وزنه‌ای برابر با ۱۰۰۰N را بالا می‌برد.



برای کشیدن کش یک تیرکمان به نیرویی حدود ۵۰N نیاز دارید.

وقتی دری را هل می‌دهید تا باز شود، نیرویی حدود ۱۰N وارد می‌کنید.



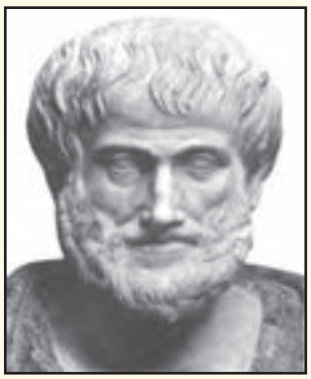
موتور یک ماشین، نیروی پیش‌رانی حدود ۷۰۰۰N باید تولید کند.

موتور یک هواپیما ممکن است نیروی پیش‌رانی حدود ۸۰۰۰۰۰N تولید کند.

قانون اول نیوتون

قانون اول نیوتون به صورت زیر بیان می‌شود:

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



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 وتحصیل پرداخت. سپس مربی اسکندر شد. هدف ارسطو سامان بخشی معلومات زمان خود بود. او مشاهده‌های مهمی انجام داد، نمونه‌هایی جمع‌آوری کرد وتقریباً تمام دانش زمان خود را گردآوری، خلاصه و طبقه‌بندی کرد. او معتقد بود هر جسم حتی برای ادامه‌ی حرکت یکنواخت، نیاز به نیرو دارد.

هرچند در آزمایشگاه نمی‌توان شرایطی را فراهم کرد که هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، اما امروزه بشر این قانون را در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تا حدودی آزموده است. هرگاه سفینه‌ای به اندازه‌ی کافی از زمین دور شود، می‌تواند 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 می‌رود. به عبارت دیگر هر جسم، چه در حال سکون باشد و چه در حال حرکت یکنواخت روی خط راست، در صورتی‌که هیچ نیرویی به آن وارد نشود در همان وضعیت حرکت می‌ماند. این خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را در نبود نیرو حفظ کنند، **لَختی** نام دارد. از این‌رو قانون اول نیوتون، **قانون لَختی** نیز نامیده می‌شود.

پرسش ۳-۲

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌ایم و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به عقب هُل داده می‌شویم. همچنین اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشیم، هنگام توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می‌شویم. 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 ضربه‌ی انگشت آن را به سرعت به حرکت در آورید (شکل ۳–۵). نتیجه‌ی آزمایش را به کمک قانون اول نیوتون شرح دهید.

شکل ۳–۵ ضربه‌ی سریع انگشت به کارت، کارت را از زیر سکه پرتاب می‌کند و سکه درون لیوان می‌افتد.

بیش‌تر بدانید

- آزمایش فکری گالیله وقانون اول نیوتون

شبیه‌سازی

- قانون اول نیوتون

قانون دوم نیوتون

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

قانون دوم نیوتون به صورت زیر بیان می‌شود:

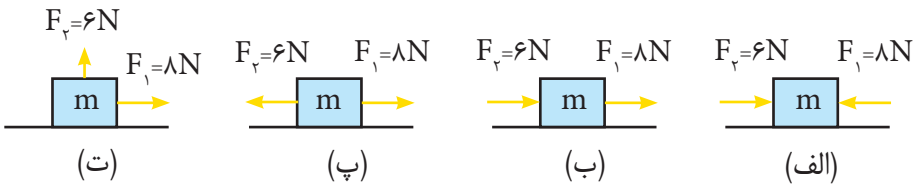
شتاب جسمی به جرم m که نیروی $\vec{F}$ بر آن وارد می‌شود، هم‌جهت و متناسب با نیروی وارد بر آن است و با جرم جسم نسبت عکس دارد. این بیان را می‌توان به صورت زیر نوشت

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

رابطه‌ی بالا را به صورت $\vec{F}=m\vec{a}$ نیز می‌توان نوشت. در این رابطه، $\vec{F}$ **برایند** همه‌ی نیروهایی است که به جسم به جرم m وارد می‌شود و به آن شتاب $\vec{a}$ می‌دهد. یکای نیرو، نیوتون (N) را نیز می‌توان 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 $kg\cdot m/s^2$ خواهد شد که آن را نیوتون می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم $1kg$ وارد شود، به آن شتابی برابر $1m/s^2$ بدهد.»

مثال ۳-۱

نیروهای وارد شده به جسمی به جرم $m=2kg$ 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 شده‌اند و تنها در شکل ۳-۶ ت نیروی F_2 در راستای قائم (محور y) است.



شکل ۳-۶

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

گالیلو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴) دردانشگاه 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 دست‌ساز خود را به طرف آسمان شب نشانه رفت وکوه‌هایی را روی ماه و قمرهایی رادر 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. درایـن زمان، او که پیرمردی با تن و روانی درهم شکسته بود، محکوم شد برای همیشه در خانه‌ی خود تحت نظر باشد.

شبیه‌سازی

- قانون دوم نیوتون

در وضعیت (الف) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=-F_1+F_2=(-8N)+(6N)=-2N$

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

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

در وضعیت (ب) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=F_1+F_2=(8N)+(6N)=14N$

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

در وضعیت (پ) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=F_1-F_2=(8N)+(-6N)=2N$

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

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

برایند نیروهای وارد بر جسم: $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}=\sqrt{(8N)^2+(6N)^2}=\sqrt{100N^2}=10N$

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

تمرین ۳-۱

بزرگی برایند نیروهای وارد بر جسمی برابر ۱۰N است. اگر جسم شتابی برابر $2m/s^2$ 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 می‌کند. اما این قانون‌ها، مشخص نمی‌کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می‌شود. همان‌طور که تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می‌کند. بازیکن فوتبال، با پا به توپ ضربه می‌زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می‌کند. شخصی که جسمی را روی زمین می‌کشد، به آن نیرو وارد می‌کند.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 می‌شود:

اگر جسم (۱) بر جسم (۲) نیرو وارد کند، جسم (۲) نیز متقابلاً نیرویی بر جسم (۱) وارد می‌کند. اگر نیرویی را که جسم (۱) بر جسم (۲) وارد می‌کند، $\vec{F}$ و نیرویی را که جسم (۲) بر جسم (۱) وارد می‌کند، $\vec{F}'$ بنامیم، این دو نیرو هم‌اندازه، هم‌راستا و در دو سوی مخالف یک‌دیگرند.یعنی $\vec{F}=-\vec{F}'$

ایزاک نیوتون(۱۷۲۷-۱۶۴۲) 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 مادربزرگ خود رشد کرد. درکودکی، هیچ نشانه‌ای از تیزهوشی در او نبود و پس از ۵ سال تحصیل در دانشگاه کمبریج بدون هیچ ویژگی خاصی فارغ‌التحصیل شد. با گسترش طاعون در سراسر انگلستان به مزرعه‌ی مادرش بازگشت و در مزرعه (۲۳-۲۴سالگی) پایه‌های کاری را گذاشت که او را جاودان 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، نظریه‌ای در مورد ماهیت نور تنظیم کرد، و به کمک منشور نشان داد که نور سفید از رنگ‌های رنگین‌کمان 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 ودر ۴۳ سالگی کتاب ارزشمند **اصول ریاضی فلسفه‌ی 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 کدام‌یک 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

۳-۳ قانون‌های نیرو

همان‌طور که دیدیم بنا بر قانون دوم نیوتون، شتاب جسمی به جرم m متناسب با برایند 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 بگیرید. در صورتی‌که 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 درنظر 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

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

شبیه‌سازی
- قانون سوم نیوتون

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

آزمایشگاه مجازی
- نیروی گرانش

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

$$G = ۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,N.m^۲/kg^۲$$

بیش‌تر بدانید

- ترازوی کاوندیش
- نخستین براورد محیط زمین
- وزن و بی‌وزنی

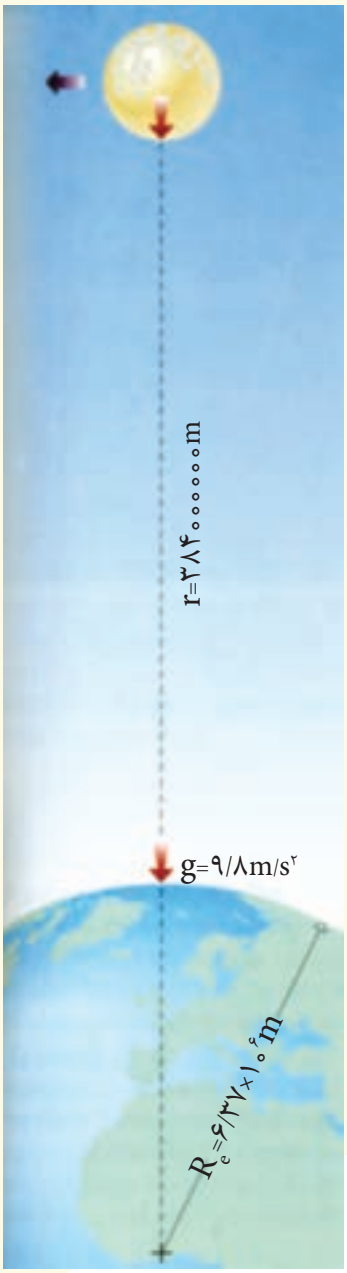
مثال ۳-۲

جرم زمین و خورشید به ترتیب برابر $۶\times۱۰^{۲۴}kg$ و $۲\times۱۰^{۳۰}kg$ است. اگر فاصله‌ی متوسط زمین تا خورشید $۱/۵\times۱۰^{۱۱}m$ باشد، نیروی گرانشی وارد از خورشید بر زمین چقدر است؟

حل: چون فاصله‌ی زمین از خورشید نسبت به شعاع‌های زمین و خورشید بسیار بزرگ‌تر است، زمین و خورشید را می‌توان مانند دو ذره در نظر گرفت(شکل ۳-۹). بنا بر قانون گرانش نیوتون داریم

$$F = G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}$$

$$= (۶/۶\times۱۰^{-۱۱}\,N\cdot m^۲/kg^۲)\frac{(۶\times۱۰^{۲۴}kg)\times(۲\times۱۰^{۳۰}kg)}{(۱/۵\times۱۰^{۱۱}m)^۲} = ۳/۵۵\times۱۰^{۲۲}N$$



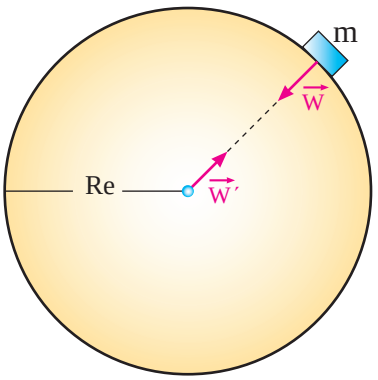
شکل ۳-۹

وزن: نمونه‌ی بارز نیروی گرانش، وزن اجسام روی زمین است که همان نیروی گرانش کره‌ی زمین است که بر آن‌ها وارد می‌شود.

اگر شعاع کره‌ی زمین را با R_e و جرم آن را با M_e نشان دهیم، نیروی گرانشی‌ای که بر جسمی به جرم m در روی کره‌ی زمین (و اطراف زمین) وارد می‌شود از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W = G\frac{M_em}{R_e^۲}$$

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



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 می‌شود.

از آنجاکه 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 $W=G\frac{M_e m}{R_e^2}$ و $W=mg$ 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.

هشدار: جرم و وزن را باهم اشتباه نگیرید. در زندگی روزمره اغلب یکاهای SI برای جرم و وزن را نابجا به‌کار 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 ازاین 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 اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۳-۳

شتاب گرانش را در سطح ماه به دست آورید و آن را با شتاب گرانش در سطح زمین $(g_e=9/8 m/s^2)$ مقایسه کنید. جرم ماه $M_m=7/4\times10^{22} kg$ و شعاع آن $R_m=1/8\times10^6 m$ است.

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

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

$$=(6/67\times10^{-11} N\cdot m^2/kg^2)\frac{(7/4\times10^{22} kg)}{(1/8\times10^6 m)^2}\simeq 1/6 m/s^2$$

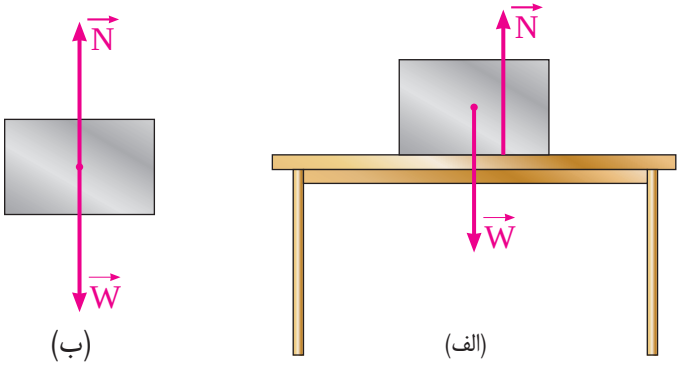
همان‌طور که دیده می‌شود بزرگی شتاب گرانش در سطح ماه تقریباً $\frac{1}{6}$ بزرگی شتاب گرانش در سطح زمین است. یعنی وزن یک جسم در سطح ماه ۶ برابر کوچک‌تر از وزن آن در سطح زمین است.

بیش‌تر بدانید

- نظریه‌ی گرانش اینشتین به زبان ساده
- سیاهچاله‌ها

نیروی عمودی سطح: وقتی روی تشک ایستاده‌اید، با این‌که 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 ۳-۱۱الف 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 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.

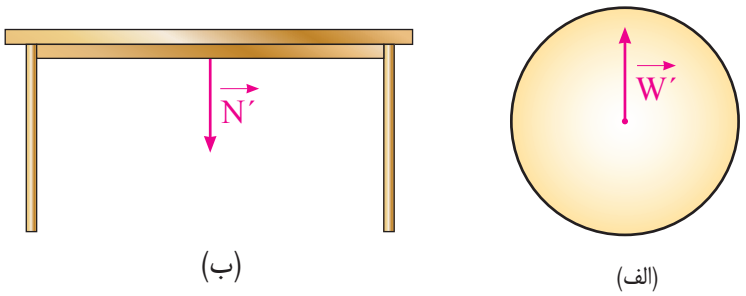


شکل ۳-۱۱ الف- بر قطعه‌ای که روی میزی ساکن است افزون بر نیروی وزن $\vec{W}$، نیروی عمودی سطح $\vec{N}$ از طرف میز به آن وارد می‌شود.
ب- توجه کنید نیروهای $\vec{N}$ و $\vec{W}$کنش و واکنش یک‌دیگر نیستند.

مثال ۳-۴

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

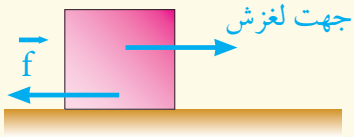
پاسخ: نیروی واکنش وزن $\vec{W}$ به مرکز زمین (شکل ۳-۱۲ الف) و نیروی واکنش $\vec{N}$ به سطح میز (شکل ۳-۱۱ ب) وارد می‌شود. توجه کنید که نیروی کنش $\vec{N}$ به قطعه و نیروی واکنش آن $\vec{N}'$ به میز وارد شده است.



شکل ۳-۱۲

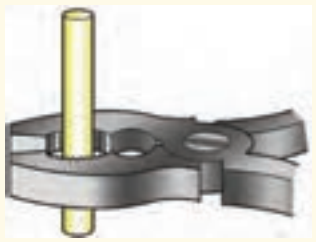
نیروی اصطکاک: اگر جسمی را روی سطحی بلغزانیم یا تلاش کنیم که بلغزانیم، حرکت با مقاومت روبه‌رو خواهد شد. همچنین اگر اتومبیلی را که در مسیر مستقیم در حال حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون گرفتن ترمز پس از طی مسافتی متوقف می‌شود.

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



شکل ۳-۱۳ نیروی اصطکاک $\vec{f}$ با لغزش جسم روی سطح مخالفت می‌کند.

این کوهنورد به اصطکاک زیادی بین دست‌هایش وطناب نیازمند است. درغیر این صورت سر می‌خورد.



اصطکاک بین دهانه‌های انبردست ومیله باعث می‌شود که میله بدون لغزش نگه داشته شود.

شکل ۳-۱۴

اصطکاک می‌تواند سودمند باشد. در بعضی موارد، نیروی اصطکاک می‌تواند خیلی سودمند باشد. برای افزایش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح‌ها ناهموار و خشک باشند، به‌طوری‌که آن‌ها به یک‌دیگر محکم گیر کنند(شکل ۳-۱۴).

اصطکاک می‌تواند زیان‌بار 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 سطح‌ها را تا حد ممکن هموار و یک **ماده‌ی روان‌کننده** مانند روغن اضافه کنیم (شکل ۳-۱۶). اصطکاک بین دو سطح باعث تولید گرما می‌شود و این موضوع سبب می‌شود که یکی از دو سطح یا هر دو آن‌ها ساییده شوند. یک ماده‌ی روان‌کننده به کاهش گرما و ساییدگی کمک می‌کند. این موضوع، دلیلی بر اهمیت روغن‌کاری ماشین آلات است.

این اسکی‌باز می‌خواهد اصطکاک بین چوب‌های اسکی او و برف، تاحد ممکن کوچک باشد تا بتواند سریع‌تر برود.

وقتی ماهی شنا می‌کند، بین بدنش وآب اصطکاک وجود دارد. برای کم نگه داشتن اصطکاک، ماهی حالتی هموار وکم مقاومت در برابر آب دارد.

شکل ۳-۱۵

فعالیت ۳-۳

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

مطالعه‌ی آزاد

نگاهی دقیق‌تر به نیروی اصطکاک

شکل ۳-۱۷ الف جسمی را نشان می‌دهد که روی سطح افقی ساکن است. نیروی وزن $\vec{W}$ و نیروی عمودی سطح $\vec{N}$ بر آن اثر می‌کنند و جسم به حال سکون است. در شکل ۳-۱۷ ب نیروی افقی و کوچک $\vec{F}$ به‌گونه‌ای بر جسم وارد شده است که جسم ساکن بماند. بنا بر قانون دوم نیوتون چون جسم در این حالت ساکن است، باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین، باید یک نیروی افقی مانند $\vec{f}_s$ به جسم وارد شود تا با خنثی 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 می‌نامند.

در شکل ۳-۱۷ پ نیروی افقی $\vec{F}$ بیش‌تر شده است. به طوری‌که باز هم جسم در حال سکون است. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش یافته است. زیرا بنا بر قانون دوم نیوتون برایند 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 بیشینه‌ی خود یعنی $\vec{f}_{s,max}$ رسیده است. به نیروی اصطکاک در این حالت نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت گفته می‌شود. زیرا به محض این‌که $\vec{F}$ از $\vec{f}_{s,max}$ بیش‌تر

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

روان‌کننده اصطکاک را کاهش می‌دهد

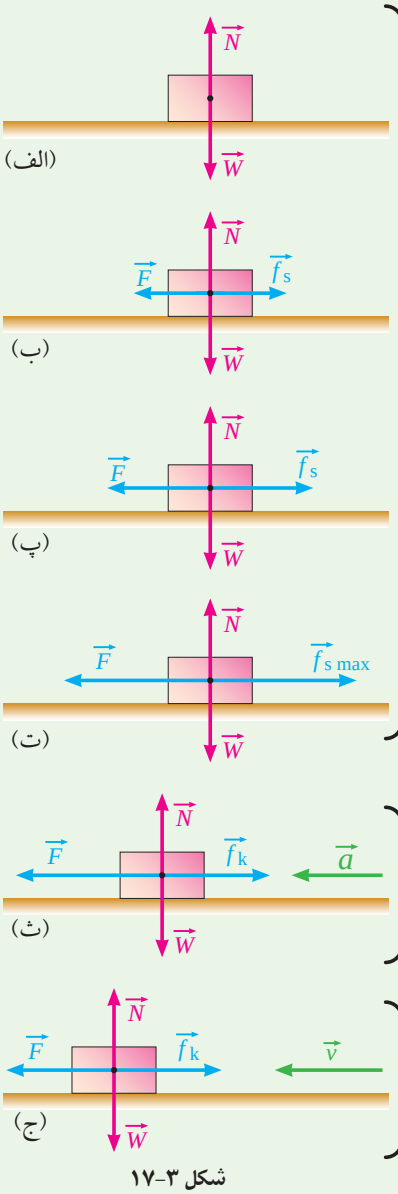
با افزودن روان‌کننده‌ای مانند مایع ظرف‌شویی، حلقه به‌راحتی در می‌آید.

شکل ۳-۱۶

شود جسم شروع به حرکت می‌کند.تجربه نشان می‌دهد بزرگی نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت از رابطه‌ی $f_{s,max}=\mu_s N$ به دست می‌آید که در آن μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. توجه کنید این رابطه تنها برای حالتی که جسم در آستانه‌ی حرکت باشد به کار می‌رود. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از $\mu_s N$ کوچکتر و مقدار بیشینه‌ی آن برابر $\mu_s N$ است. یعنی داریم $f_s \leqslant \mu_s N$.

در شکل ۳-۱۷ ث نیروی افقی $\vec{F}$ که اندازه‌ی آن بزرگتر از نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت است به جسم وارد شده است. در نتیجه جسم با شتاب $\vec{a}$ شروع به حرکت می‌کند. در هنگام حرکت جسم نیز نیروی اصطکاک به جسم وارد می‌شود که آن را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامند و با $\vec{f}_k$ نمایش می‌دهند. تجربه نشان می‌دهد که بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی از رابطه‌ی $f_k=\mu_k N$ به دست می‌آید که در آن μ_k ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد.

پس از این‌که جسم شروع به حرکت کرد می‌توانیم اندازه‌ی نیروی افقی $\vec{F}$ را کم کنیم.به طوری‌که هرگاه اندازه‌ی نیروی $\vec{F}$ با اندازه‌ی $\vec{f}_k$ برابر شود، حرکت جسم با سرعت ثابت خواهد بود. (شکل ۳-۱۷ ج) ضریب اصطکاک ایستایی μ_s و ضریب اصطکاک جنبشی μ_k به عوامل مختلفی از جمله جسم‌های در تماس، میزان صیقلی بودن سطح های در تماس، دما و میزان آلودگی سطح ها بستگی دارد. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی از ضریب اصطکاک جنبشی کوچکتر است، یعنی $\mu_k < \mu_s$.



شکل ۳-۱۷

بیش‌تر بدانید

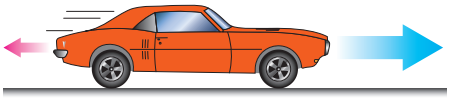
- منشأ فیزیکی اصطکاک

ابو منصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه‌ی علم الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره شناسان قرون۵و۶ 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 سال۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می‌زیست و در همین شهر به کسب علم پرداخت و با جهد بسیار در حوزه‌ی دانش پیشرفت کرد.

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

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

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.

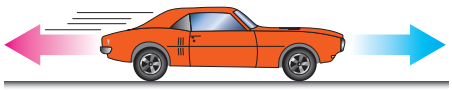
با افزایش سرعت اتومبیل، نیروهای اصطکاک ناشی از مقاومت هوا نیز افزایش می‌یابند(شکل ۳-۱۹).

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

سرانجام بزرگی نیروهای اصطکاکی به بزرگی نیروهای پیش‌ران موتور می‌شوند و سرعت اتومبیل به بیشینه‌ی 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.

آزمایشگاه مجازی

- نیروها و حرکت

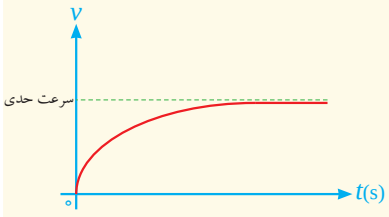


شکل ۳-۲۰ بزرگی نیروها برابر است و در نتیجه اتومبیل بدون شتاب است.

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 اصطکاکی 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 (kg.m/s) است.

مثال ۳-۵

ذره‌ای به جرم ۱mg و با سرعت ثابت ۱۰m/s در امتداد محور x در حرکت است. اندازه حرکت (تکانه‌ی) این ذره چقدر است؟

حل : جرم ذره در SI برابر است با:

$$m = ۱mg = ۱\times۱۰^{-۳}g = ۱\times۱۰^{-۳}\times۱۰^{-۳}kg = ۱۰^{-۶}kg$$

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:

$$P = mv = (۱۰^{-۶}kg)\times(۱۰m/s) = ۱۰^{-۵}kg.m/s$$

شبیه‌سازی

- اصطکاک وتغییر دما
- نقش کیسه‌ی هوا در اتومبیل

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

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

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

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m\frac{(\vec{v}_۲ - \vec{v}_۱)}{\Delta t}$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_۲ - m\vec{v}_۱}{\Delta t} = \frac{\vec{P}_۲ - \vec{P}_۱}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

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

برایند نیروهای وارد بر جسم برابر است با آهنگ تغییر اندازه حرکت جسم

مثال ۳-۶

گلوله‌ای به جرم ۲۰g با سرعت ۵۰m/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 ۰/۰۵ ثانیه در دیوار پیش برود، نیروی متوسط وارد بر گلوله از طرف دیوار چقدر است؟

حل: سرعت جسم پیش از برخورد به دیوار $v_1=50m/s$ و پس از فرو رفتن در دیوار و متوقف شدن برابر $v_2=0$ است. بنابراین تغییر سرعت گلوله در مدت $\Delta t=0/05s$ برابر $\Delta v=v_2-v_1=-50m/s$ است. بنابراین نیروی متوسط وارد بر گلوله برابر است با

$$\overline{F}=m\frac{\Delta v}{\Delta t}=(0/02kg)\frac{(-50m/s)}{0/05s}=-20N$$

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

بیش تر 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 برایند 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

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

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 برایند 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.

پرسش‌های مفهومی

۱- یک اتومبیل ویژه‌ی مسابقه، موتور پر قدرتی دارد اما از مواد بسیار سبک و مستحکمی ساخته شده است. ویژگی‌های این اتومبیل را بر پایه‌ی رابطه‌ی F=ma توضیح دهید.

۲- توپی را به هوا پرتاب می‌کنیم. شکلی رسم کنید و نیرو(ها)ی وارد به توپ را در حالی‌که بالا می‌رود نشان دهید.

۳- هرگاه بادکنکی را باد کنیم و سپس آن را رها کنیم مشاهده می‌شود که در حالی‌که هوای درون بادکنک تخلیه می‌شود بادکنک بر خلاف جهت خروج هوا حرکت می‌کند. درشکل ۳-۲۳ حرکت موشک با یک بادکنک مقایسه شده است. به کمک قانون‌های نیوتون حرکت هر یک را شرح دهید. به جهت خروج هوا از بادکنک یا گازهای داغ از موشک توجه کنید.

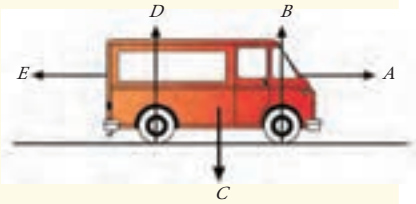
شکل ۳-۲۳

۴- مطابق شکل ۳-۲۴ نیروهای A، B، C، D و E به اتومبیل وارد شده‌اند.

الف) با انتخاب یکی از نیروهای A تا E جمله‌های زیر را کامل کنید.

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

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



شکل ۳-۲۴

ب) اندازه‌ی نیروهای A و E می‌تواند تغییر کند. مقدار نیروی A با نیروی B را در حالت‌هایی که در جدول زیر داده شده است، با هم مقایسه کنید.

مقایسه‌ی نیروها / نوع حرکت اتومبیل	نیروی A کوچک‌تر از نیروی E است	نیروی A مساوی نیروی E است	نیروی A بزرگ‌تر از نیروی E است
ساکن است			
شتابدار تندشونده			
سرعت ثابت			
شتابدار کندشونده			

پ) در چه زمانی نیروی E مساوی صفر است؟

ت) اتومبیل مشکلی پیدا می‌کند و در هر ثانیه یک قطره روغن از آن روی جاده می‌ریزد. در نمودار زیر قطره‌های روغن ریخته شده از اتومبیل هنگام حرکت روی جاده نشان داده شده است.

W X Y Z

نوع حرکت اتومبیل را در نقطه‌های زیر توضیح دهید.

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.

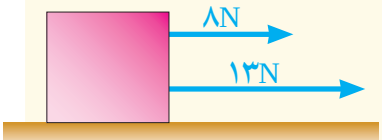
۶- چتر بازی از هواپیمایی بیرون می‌پرد. پس از مدت کوتاهی چتر او باز می‌شود. توضیح دهید باز شدن چتر چگونه باعث کاهش اندازه حرکت چترباز می‌شود به‌طوری‌که سرانجام به سلامت به زمین می‌رسد.

مسئله‌ها

۱- در مکان خاصی وزن جسمی به جرم ۱kg برابر با ۱N است. وزن جرم‌های زیر در آن‌جا چقدر است؟

الف) ۱۰۰g ب) ۵kg پ) ۵g

۲- نیروهای وارد بر جسمی به جرم ۲kg که در امتداد افق در حرکت است مطابق شکل ۳-۲۵ است. شتاب جسم چقدر است؟



شکل ۳-۲۵

۳- جسمی به جرم ۵۰۰g روی سطح افقی بدون اصطکاکی بانیروی ثابت F روی خط راست کشیده می‌شود و در مدت ۲s مسافت ۸m را می‌پیماید.

الف) شتاب حرکت جسم چقدر است؟

ب)مقدار نیروی F را حساب کنید.

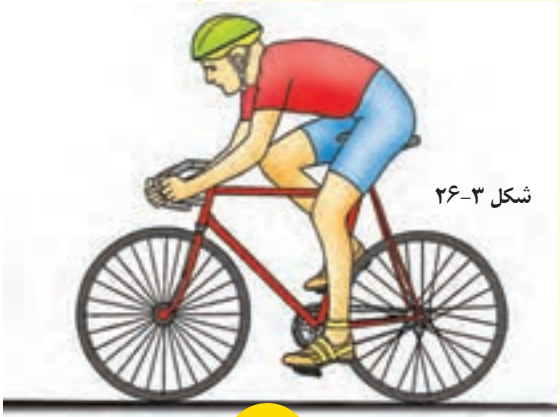
۴- دوچرخه سواری روی جاده‌ای صاف از حالت سکون و با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند (شکل ۳-۲۶) و در مدت ۱۰s سرعت او به ۵m/s می‌رسد. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

الف) شتاب حرکت دوچرخه‌سوار.

ب) سرعت متوسط دوچرخه‌سوار در مدت ۱۰s.

پ) مسافت پیموده‌شده در مدت ۱۰s.

سرانجام، بااین‌که دوچرخه‌سوار شدیداً رکاب می‌زند، سرعتش پس از رسیدن به مقداری بیشینه، زیاد نشده و شتاب حرکت او صفر می‌شود.


شکل ۳-۲۶

ت) سرعت بیشینه‌ی دوچرخه‌سوار چه نامیده می‌شود؟

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

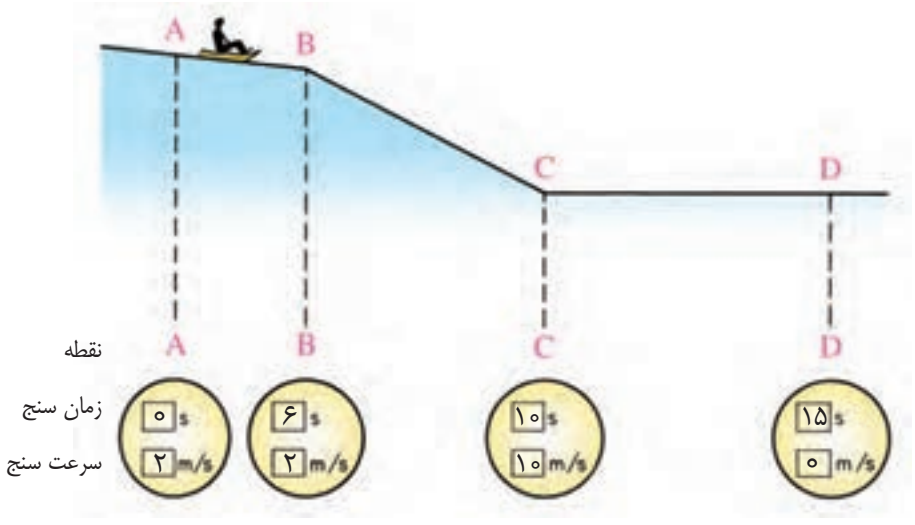
شکل ۳-۲۷

۵- برای آزمایش کمربند ایمنی یک اتومبیل، آدمکی را به جرم ۵۵kg انتخاب می‌کنند و با کمربند ایمنی روی صندلی می‌نشانند (شکل ۳-۲۷). پیش از آن‌که اتومبیل به یک دیوار آجری برخورد کند، سرعت آن ۳۵m/s است. در این موقعیت کمربند ایمنی به آدمک اجازه می‌دهد تنها مسافتی برابر ۶۰cm با حرکت شتابدار و با شتاب ثابت روی صندلی به طرف جلو حرکت کند.

الف) شتاب کندشونده‌ی آدمک را به دست آورید.

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

۶- شخصی با یک سورتمه از سطح شیبداری پایین می‌آید. جرم کل شخص و سورتمه برابر با ۱۰۰kg است. زمان و سرعت او همزمان با وسیله‌ای (زمان‌سنج- سرعت‌سنج) که به سورتمه متصل است اندازه‌گیری می‌شود. مقدارهای اندازه‌گیری شده در نقطه‌های A،B،C و D در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۸

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

ب) متوسط نیروی وارد شده به سورتمه را در فاصله‌ی CD حساب کنید.

۷- سـرعت دوچرخه‌سواری برابر با ۵m/s اسـت. در مدت ۵ ثانیه سرعت او به ۷m/s افزایش پیدا می‌کند.

شکل ۳-۲۹

شبیه‌سازی

- حرکـت ماهـواره (در ارتبـاط بـا مسئله‌ی ۸)

الف) شتاب دوچرخه‌سوار چقدر است؟

ب) در شـکل ۳-۲۹ جرم دوچرخه‌سوار با دوچرخه‌اش ۸۰kg است. نیرویی که از طرف جاده رو به جلو به دوچرخه وارد می‌شود برابر با ۳۰N است. اگر شتاب دوچرخه‌سوار برابر با مقدار قسمت (الف) باشد، نیروی مقاومت باد R را به دست آورید.

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

الـف) بـرای این‌که ماهواره در مسـیر دایره‌ای دور زمیـن حرکت کند، لازم اسـت نیرویی به طرف زمین به ماهواره وارد شود. به این نیرو که جهت آن به طرف مرکز زمین اسـت، نیروی مرکزگرا نیز گفته می‌شود. توضیح دهید بـرای حرکت ماهواره در مداری اطراف زمین، ایـن نیروی مرکزگرا از کجا تأمین می‌شود.

ب) اگـر جرم ماهواره بیش‌تر شـود نیـروی مرکزگـرای لازم چه تغییری می‌کند؟

پ) اگر ماهواره در مداری به فاصله‌ی ۶۰۰ کیلومتری سطح زمین در حرکت باشـد و جرم ماهواره ۴۰۰kg باشـد، بزرگی نیروی مرکزگرای وارد شده به ماهواره چقدر است؟ جرم زمین $۶\times۱۰^{۲۴}kg$ و شعاع آن ۶۴۰۰km است. (فرض کنید همه‌ی جرم زمین در مرکزآن متمرکز باشد.)

شکل ۳-۳۰

فصل ۲

کاربرد قانون های نیوتون

چرا هرقدر دسته‌ی آچار بلندتر باشد، بازکردن پیچ راحت‌تر است؟

سیمای فصل

۴-۱ نیروهای چرخاننده: گشتاورها

۴-۲ گرانیگاه (مرکز گرانش)

۴-۳ تعادل و پایداری جسم‌ها

۴-۴ نیروهای کشسانی

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

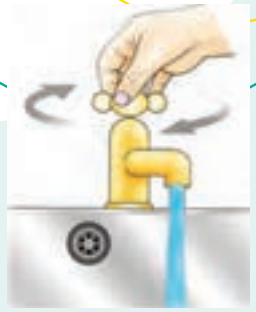
کاربرد قانون‌های نیوتون

در فصل قبل با مفهوم نیرو و اثرهای آن و همچنین قانون‌های نیوتون آشـنا شـدیم. هرچند اثر نیروهایی را که جسمی را هُل می‌دهند و می‌کشند، جسم‌ها را به حرکت وا می‌دارند یا حرکت آن‌ها را کُند می‌سـازند، به سـهولت می‌توان شـناخت، اما نیروهایی که به جسم‌های در حال تعادل، مثلاً جسـم‌های ساکن وارد می‌شـوند، کم‌تر آشکارند. در این فصل ضمن آشنایی با نیروهای چرخاننده، باگرانیگاه یا مرکز گرانش جسـم‌ها آشنا خواهیم شد. پس از آن به بررسی تعادل و پایداری جسم‌ها و انواع آن می‌پردازیم و در پایان نیروهای کشسانی و قانون هوک را بررسی می‌کنیم.

۴-۱ نیروهای چرخاننده: گشتاورها

گشتاور نیرو: بعضی مواقع، هنگامی که نیرویی به جسمی وارد می‌کنیم، سبب چرخش یا دوران جسم می‌شود. اثر چرخش یا چرخندگی یک نیرو، **گشتاور** آن نیرو نامیده می‌شود. شکل ۴-۱ گشتاورهایی را که توسط نیروها به وجود آمده‌اند، نشان می‌دهد.

برای آن‌که دریابید چه عامل‌هایی در گشتاور نیرو دخالت دارند، فعالیت ساده‌ای را که در ادامه آمده است انجام دهید.



انگشت‌ها گشتاوری به‌وجود می‌آورند که شیر را می‌چرخاند.

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

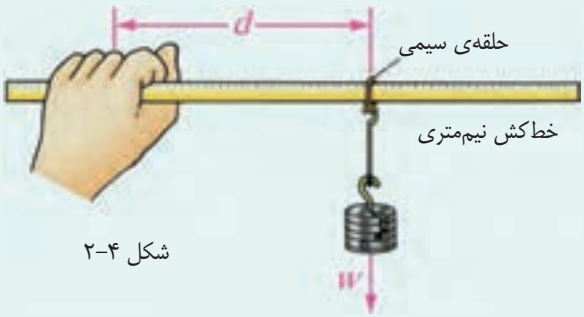
کشیدن یک دست وهل دادن دست دیگر، گشتاوری ایجاد می‌کند که فرمان را می‌چرخاند.

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

شکل ۴-۱

فعالیت ۴-۱

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 ۴-۲).



شکل ۴-۲

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.

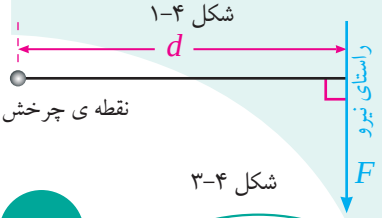
- محل حلقه را ثابت نگه دارید و وزنه‌ها را زیادتر کنید.
- وزنه‌ها را ثابت نگه دارید، و فاصله‌ی حلقه‌ی فلزی تا دستتان را زیادتر کنید.

همان‌طور که فعالیت ۴-۱ 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، τ مطابق شکل ۴-۳ برابر است با حاصل‌ضرب اندازه‌ی نیرو، F، در فاصله‌ی عمودی نقطه‌ی چرخش از راستای نیرو، d، که با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود [۱]

$$\tau = Fd$$

یکای گشتاور نیرو، نیوتون متر N.m است.



شکل ۴-۳

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

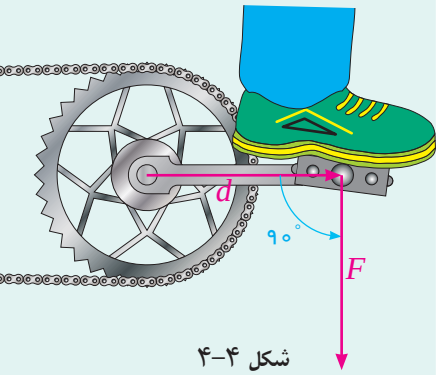
گشـتاور نیرو، کمیتی برداری اسـت و جهت چرخش، بـه جهت نیرو بسـتگی دارد. برای مثال، هنگامی‌که می‌خواهید به کمک آچاری، پیچی را باز یا بسته کنید باید در دو جهت متفاوت نیرو وارد کنید تا گشتاور نیروی ایجاد شده در دو حالت اثر چرخشی متفاوتی به وجود آورد.

مثال ۴-۱

طول دسـته‌ی رکاب یک دوچرخه ۱۶cm است و دوچرخه‌سواری با پای خود نیرویی به بزرگی ۴۰۰N را به سـمت پایین به آن وارد می‌کند. گشـتاور نیرو را در حالتی که دسته‌ی رکاب افقی است به دست آورید (شکل ۴-۴).

حـل: وقتـی رکاب افقی اسـت نیروی پا به سـوی پایین و بر آن عمود اسـت. بنابراین فاصله‌ی عمودی نقطه‌ی چرخش از راسـتای نیرو $d=0/16m$ اسـت. با استفاده از رابطه‌ی گشتاور نیرو داریم

$$\tau = Fd = (400N)\,(0/16m) = 64N.m$$

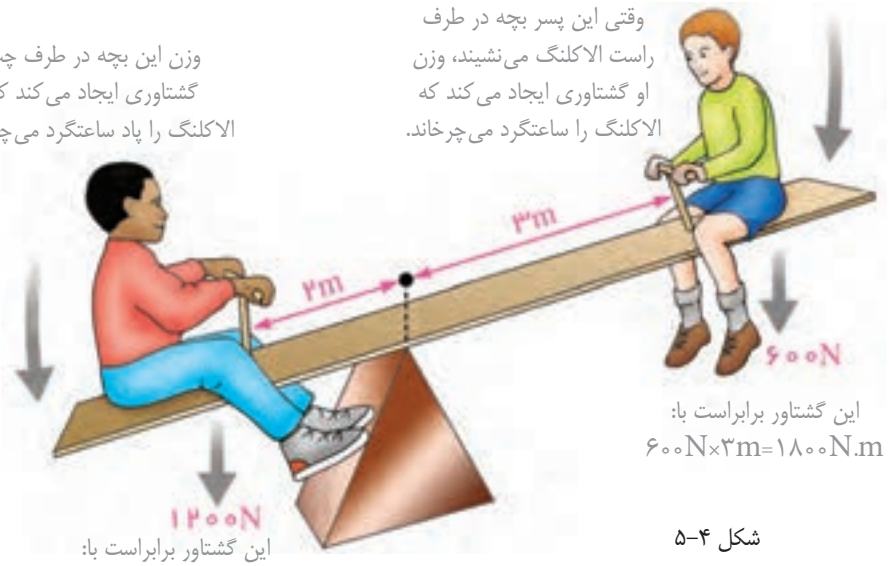


شکل ۴-۴

تعادل گشـتاورها: الاکلنگ وسـیله‌ی ساده و آشنایی است که نشان می‌دهد گشتاورها چگونه می‌توانند متعادل شـوند. شـکل ۴-۵ حالتی را نشان می‌دهد که گشـتاورها متعادل نیستند. گشتاور پادساعتگرد، بزرگ‌تر از گشتاور ساعتگرد است.

وقتی این پسر بچه در طرف راست الاکلنگ می‌نشیند، وزن او گشتاوری ایجاد می‌کند که الاکلنگ را ساعتگرد می‌چرخاند.

وزن این بچه در طرف چپ گشتاوری ایجاد می‌کند که الاکلنگ را پاد ساعتگرد می‌چرخاند.



این گشتاور برابراست با:
$600N \times 3m = 1800N.m$

این گشتاور برابراست با:
$1200N \times 2m = 2400N.m$

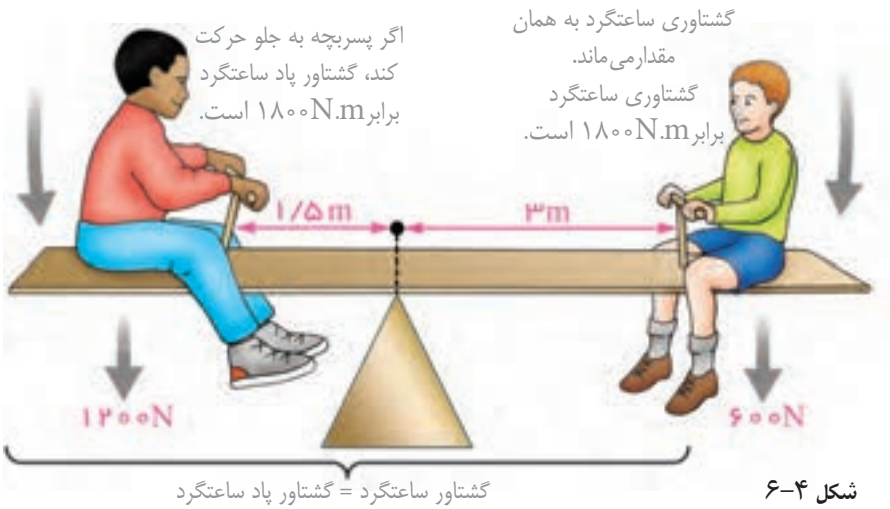
شکل ۴-۵

اگر پسـر بچه جلوتر رود، به طوری‌که در فاصلـه‌ی ۱/۵m از مرکز چرخش (تکیه‌گاه) قرار گیرد، گشتاور پادساعتگرد کاهش می‌یابد (شکل ۴-۶).

شبیه‌سازی

- تعادل گشتاورها در ترازو
- بررسی تعادل گشتاورها

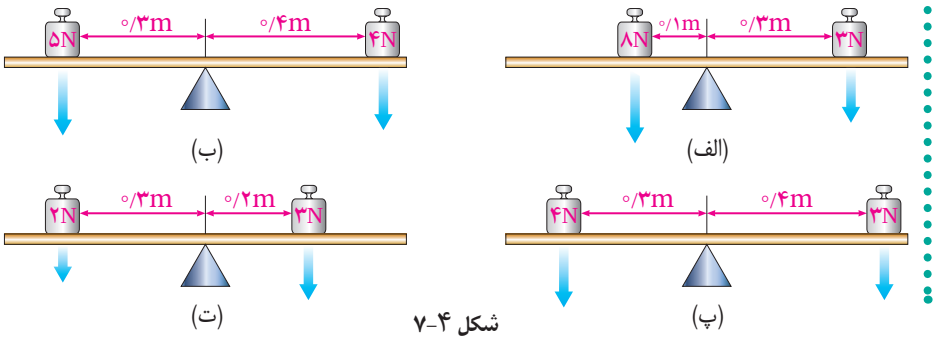
در این حالت،الّاکلنگ درتعادل است، زیرا گشتاور ساعتگرد با گشتاور پادساعتگرد برابر است. این موضوع **اصل گشتاورها** نامیده می‌شود.



شکل ۴-۶

پرسش ۴-۱

با اســتفاده از اصل گشتاورها بررســی کنید کدام‌یک از آلاکلنگ‌های شکل ۴-۷ درحال تعادل‌اند؟



شکل ۴-۷

جسـم در حال تعادل: جسـمی را در حال تعادل گویند که هردو شـرط زیر به طور همزمان درباره‌ی آن برقرار باشد.

شرط اول: برایند 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 شـرط بالا می‌توانیم اندازه‌هـای 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 درحال تعادل،برایند نیروهای رو به بالا و برایند 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

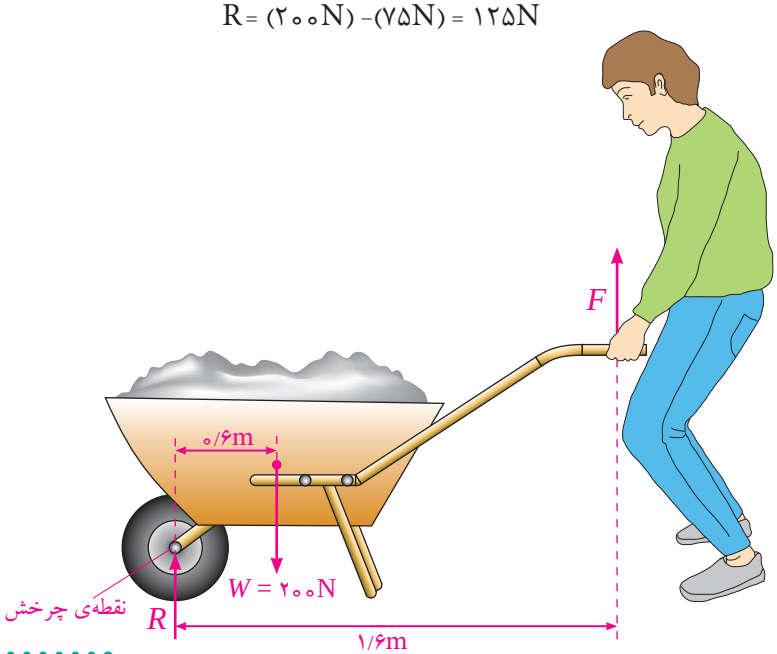
$$F+R=W$$

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

$$(۱/۶\text{m}) \times F = (۰/۶\text{m}) \times (۲۰۰\text{N}) \Rightarrow F = ۷۵\text{N}$$

به این ترتیب بزرگی نیروی R برابر است با

$$R = (۲۰۰\text{N}) - (۷۵\text{N}) = ۱۲۵\text{N}$$

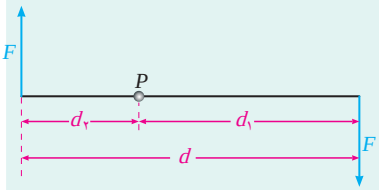


شکل ۴-۸

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.
- برایند آن‌ها صفر است.

شکل ۴-۹ 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



شکل ۴-۹

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

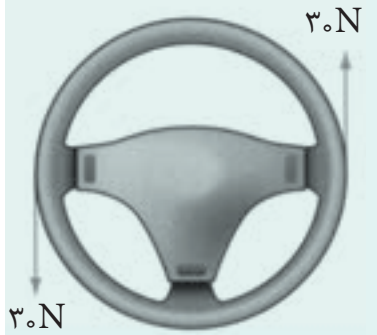
بنابراین اندازه‌ی گشتاور یک زوج نیرو برابر است با حاصل ضرب بزرگی یکی از نیروها ضربدر فاصله‌ی عمودی دو نیرو از هم.

مثال ۴-۳

دست‌های راننده‌ای، زوج نیرویی به بزرگی ۳۰N به فرمان اتومبیلی وارد می‌کنند (شکل ۴-۱۰). اگر قطر فرمان ۴۰cm باشد، بزرگی گشتاور زوج نیروی وارد بر فرمان چقدر است؟

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

$$\tau = (30N) \times (0/40m) = 12N.m$$



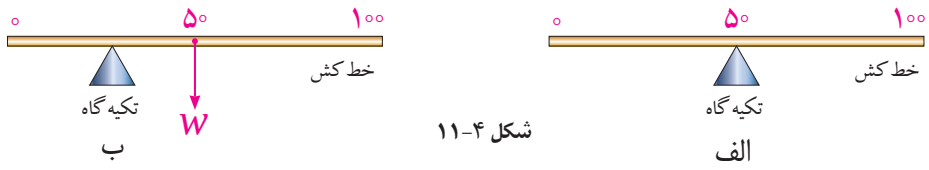
شکل ۴-۱۰

۴-۲ 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، برایند 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

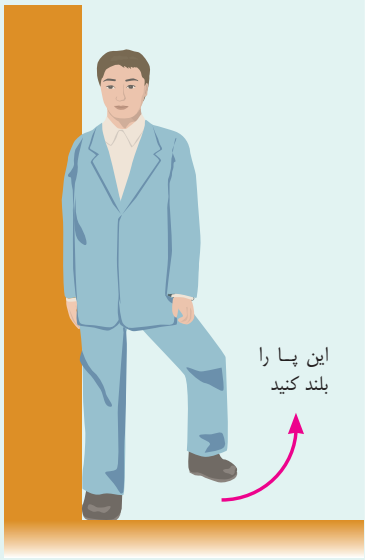
تکیه‌گاهی قرار گیرد به تعادل می‌رسد (شکل ۴-۱۱ الف). اگر این خط‌کش در هر نقطه‌ی دیگر به جز گرانیگاه، روی تکیه‌گاه قرار گیرد تعادل ندارد زیرا گشتاور نیروی ناشی از وزن خط‌کش حول تکیه‌گاه صفر نیست (شکل ۴-۱۱ ب).



شکل ۴-۱۱

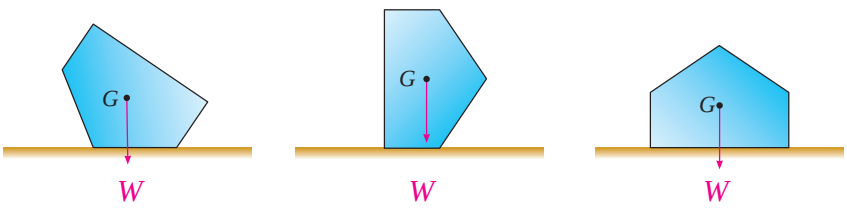
فعالیت ۴-۲

مطابق شکل ۴-۱۲ یک طرف بدن خود را به دیواری تماس دهید و در همان حال سعی کنید پای دیگر خود را بلند کنید، آیا می‌توانید 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 شده‌اید به علت این پدیده پاسخ دهید.)



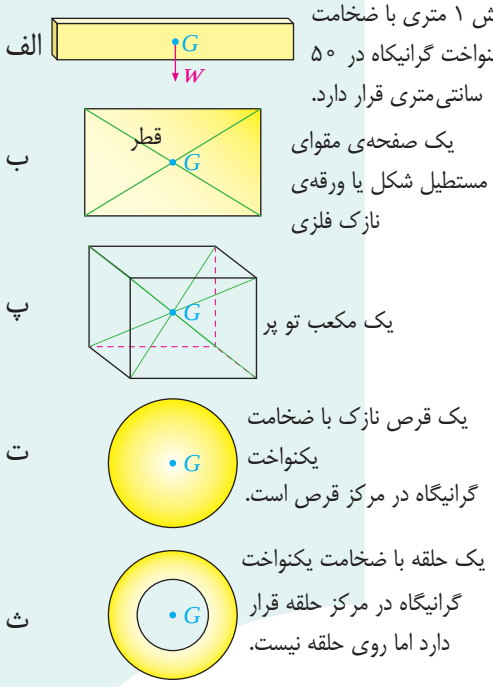
شکل ۴-۱۲

در شکل ۴ ـ ۱۳ سه وضعیت متفاوت یک جسم نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، گرانیگاه، نقطه‌ی G، همواره در یک نقطه‌ی معین نسبت به جسم باقی می‌ماند (با این که ممکن است ارتفاع آن ازسطح زمین تغییر کند). بردار نیروی وزن جسم همیشه از آن نقطه می‌گذرد.



شکل۴-۱۳ برای تمام وضعیت‌های جسم، بردار نیروی وزن از گرانیگاه G می‌گذرد.

گرانیگاه در جسم‌هایی با شکل منظم: هرگاه ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی جسمی به طور یکنواخت در آن توزیع شده باشد و شکل آن منظم باشد، گرانیگاه جسم در مرکز هندسی آن قرار دارد. در شکل ۴ ـ ۱۴ 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 ۴-۱۴ ث).



شکل۴-۱۴ گرانیگاه چند جسم با شکل منظم که ماده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها به طور یکنواخت توزیع شده است.

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 صورتی‌که جسم نامنظم باشد به سادگی نمی‌توان گرانیگاه آن را تعیین کرد و لازم است به روشی که در ادامه آمده است عمل کنیم.

فعالیت عملی

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

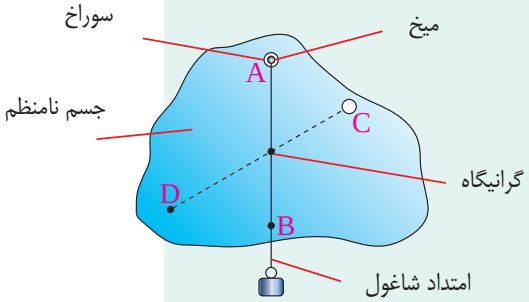
۱- روی جسم نامنظمی که می‌خواهیم گرانیگاه آن را تعیین کنیم دو سوراخ کوچک در نزدیکی لبه‌های آن ایجاد می‌کنیم.(سوراخ‌های A و C درشکل۴-۱۵).

۲- میخی را در جایی محکم کرده و جسم را از یکی از سوراخ‌ها به میخ آویزان می‌کنیم به طوری‌که جسم بتواند آزادانه نوسان کند، شکل۴-۱۵.

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 شکل۴-۱۵).

۵- این عمل را برای سوراخ دیگر انجام می‌دهیم. محل برخورد دو خط رسم شده، گرانیگاه جسم است.



شکل ۴-۱۵

۴-۳ 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

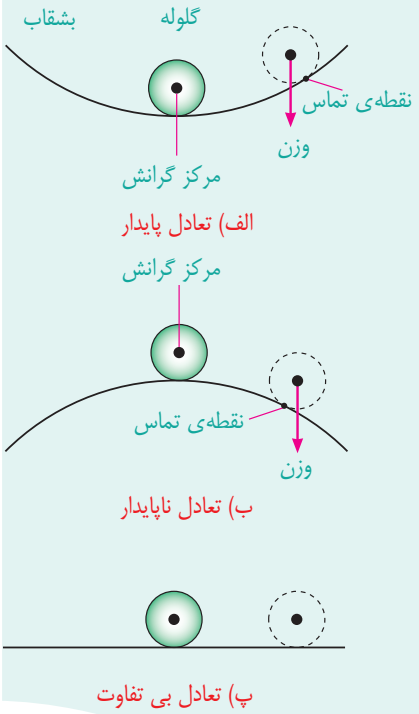
جسمی در **تعادل پایدار** است که هرگاه اندکی جابه‌جا شود و سپس رها شود به وضعیت اولیه‌ی خود برگردد. شکل ۴-۱۶ الف که گلوله‌ای را در ته کاسه‌ای نشان می‌دهد نمونه‌ای از تعادل پایدار است.

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 بی‌تفاوت

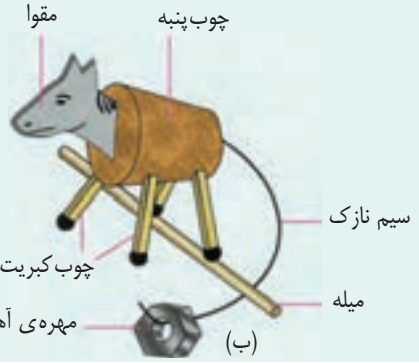
جسمی در تعادل بی‌تفاوت است که هرگاه جابه‌جا شود در وضعیت جدید خود باقی بماند. شکل ۴-۱۶ پ نمونه‌ای از تعادل بی‌تفاوت است که با غلتاندن گلوله، در وضعیت جدیدی قرار می‌گیرد و نه به وضعیت اولیه باز می‌گردد و نه بیش از آن می‌غلتد.



شکل ۴-۱۶

فعالیت ۴-۳

با ساختن وسایل مختلفی می‌توان تعادل پایدار اجسام را نشان داد. در شکل ۴-۱۷ دو نمونه از این‌گونه 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

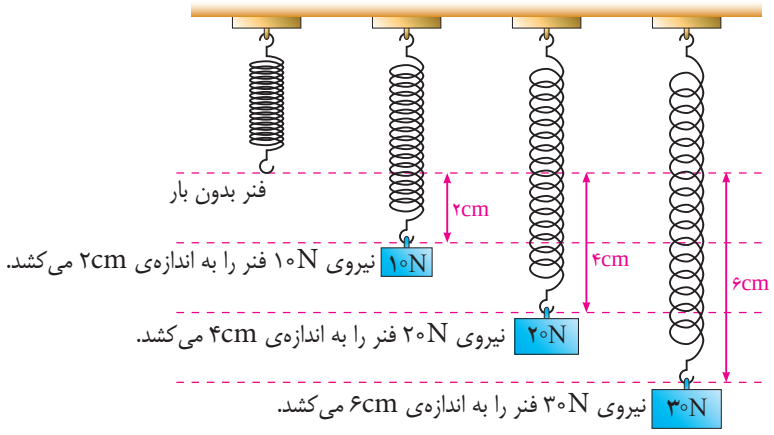
۴-۴ نیروهای کشسانی

هرگاه نیرویی روی یک فنر اعمال کنیم، شکل آن تغییر می‌کند و ممکن است کشیده یا فشرده شود. اگر نیروی بزرگ‌تری اعمال کنیم، بیش‌تر کشیده یا فشرده می‌شود. وقتی به فنر نیرویی وارد نکنیم، فنر به وضعیت اولیه‌ی خود باز می‌گردد. به این خاصیت فنر، خاصیت کشسانی گفته می‌شود و نیرویی که سبب می‌شود تا فنر را به وضعیت اولیه‌ی خود برگرداند، نیروی کشسانی می‌نامند.

برای نخستین بار دانشمندی به نام رابرت هوک کشف کرد که تغییر طول (مقدار کشیدگی یا فشردگی) با اندازه‌ی 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 می‌شود (شکل ۴-۱۸). چنان‌که اندازه‌ی نیروی وارد بر فنر را با نماد F و اندازه‌ی تغییر طول را با نماد x نشان دهیم، رابطه‌ی زیر بین آن‌ها برقرار است

$$F = kx$$

که در آن ضریب k، ثابت نیروی فنر یا به اختصار ثابت فنر نام دارد. ثابت نیروی فنر از مشخصه‌های 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 (Nm^{-1}) خواهد بود.



شکل ۴-۱۸

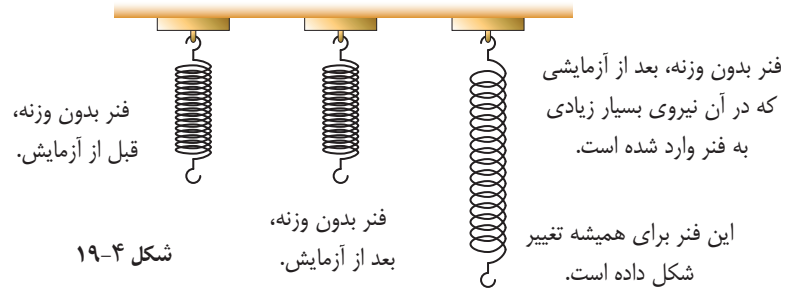
رابرت هوک(۱۷۰۳- ۱۶۳۵)

یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان انگلیسی، نخستین کسی بود که نظریه‌ی موجی نور را مطرح و سلول را توصیف کرد (به‌همین 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 می‌شود از روی حسادت هر چیز مربوط به هوک را که می‌توانست از بین برد. اکنون، هیچ نقاشی یا تصویری از هوک باقی نمانده است.

شبیه‌سازی

- 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 صورتی‌که نیروی بسیار بزرگی به یک فنر وارد شود، فنر دیگر از قانون هوک پیروی نمی‌کند و برای همیشه تغییر شکل می‌دهد به‌طوری‌که حتی با حذف نیروی وارد شده نیز، به حالت اصلی خود باز نمی‌گردد (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۱۹

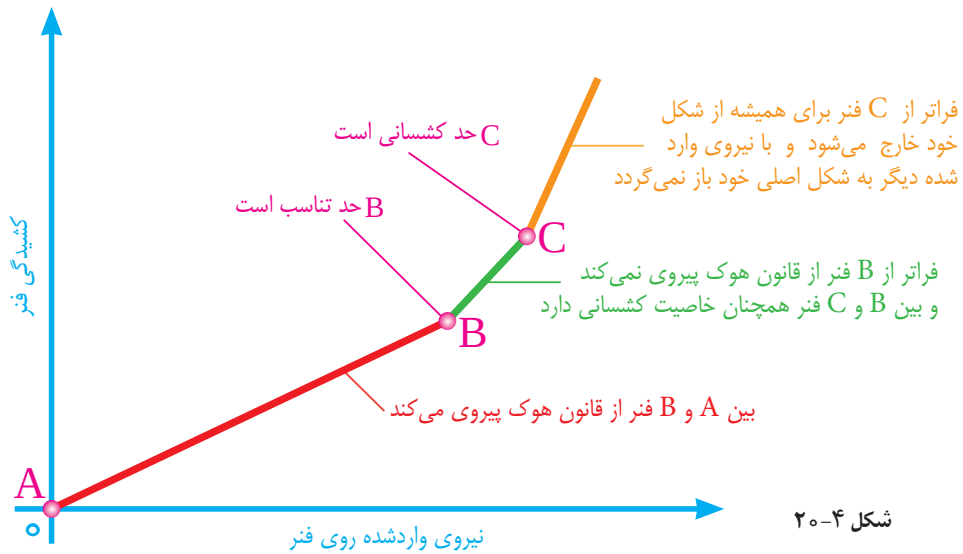
بیش‌تر بدانید

- 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 $2000\,Nm^{-1}$ و طول آن $14cm$ است. فنر را از یک نقطه آویزان می‌کنیم و به انتهای آن وزنه‌ی ۱۰۰ 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 می‌کنیم

$$F = kx$$

$$۱۰۰N = (۲۰۰۰Nm^{-۱})\,x \Rightarrow x = \frac{۱}{۲۰}\,m = ۵cm$$

چون طول اولیه‌ی فنر ۱۴cm بوده اســت، بنابراین پس از آویزان کردن وزنه به انتهای آن، طول فنر به ۱۹cm می‌رسد.

فعالیت عملی

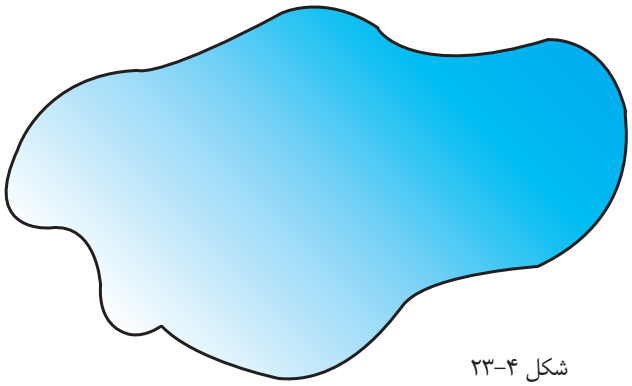
- ساخت نیرو سنج

پرسش‌های مفهومی

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

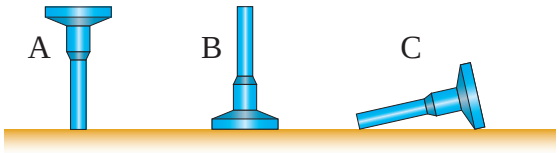
۲- با توجه به شکل ۴-۲۲ کدام محل را برای دسته‌ی در پیشنهاد می‌کنید! دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

۳- مقوایی به ابعاد ۱۵cm×۲۰cm را به شکل دلخواهی، مانند شکل ۴-۲۳ ببرید و مرکز گرانش آن را به کمک آزمایش پیدا کنید.



شکل ۴-۲۳

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



شکل ۴-۲۴

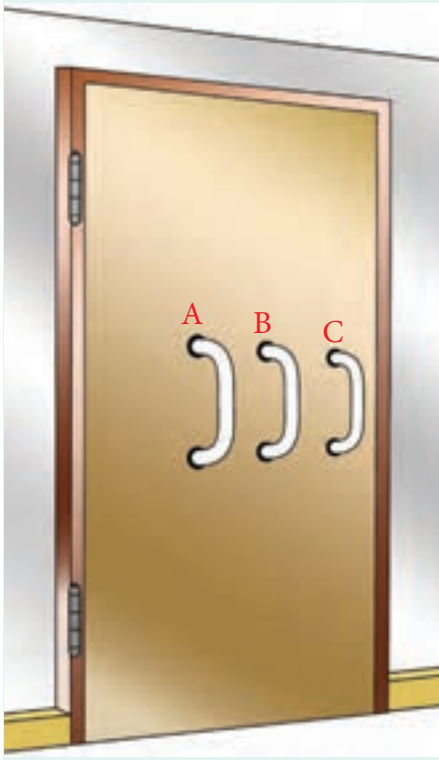
۵- خودروهای با ارتفاع زیاد، مانند شکل ۴-۲۵ که به اندازه‌ی کافی پایدار نیستند، می‌توانند عامل برخی از تصادف‌های جاده‌ای باشند. با این‌که شرکت‌های سازنده‌ی این خودروها، توجه خاصی نسبت به پایداری آن‌ها دارند، اما شرایط توفانی و بارگیری نادرست، می‌تواند پایداری آن‌ها را تا میزان خطرناکی کاهش دهد.

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 این‌گونه خودروها را کاهش دهد؟

شکل ۴-۲۱



شکل ۴-۲۲

شکل ۴-۲۵

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

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

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

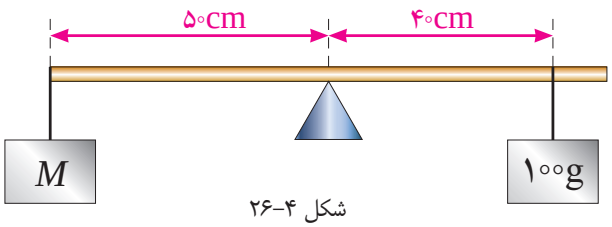
پ) روی نمودار حد تناسب را علامت بزنید.

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

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

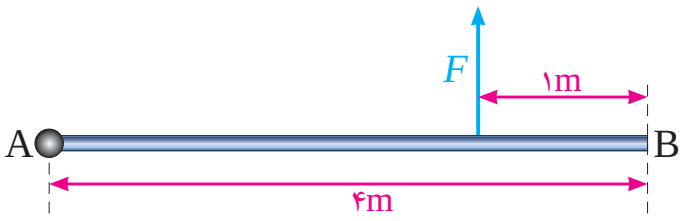
مسئله‌ها

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



شکل ۴-۲۶

۲- میله‌ای یکنواخت به وزن ۳۰N و طول ۴m مطابق شـکل ۴-۲۷ از نقطه‌ی A لولا شده است. اندازه‌ی نیروی عمودی F چقدر باشد تا میله به طور افقی در حال تعادل باشد؟



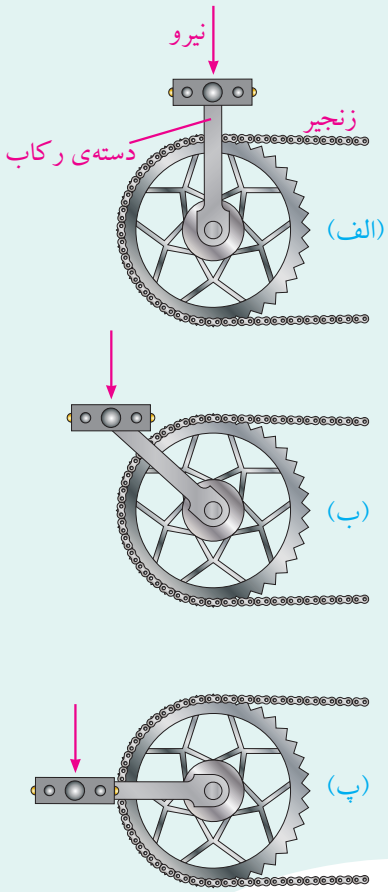
شکل ۴-۲۷

۳- شـکل ۴-۲۸ سه وضعیت رکاب دوچرخه‌ای را نشان می‌دهد که طول دسته‌ی رکاب آن ۰/۲۰m اسـت. در هر سـه وضعیت نیروی قائم و رو به پایین یکسانی به بزرگی ۲۵N توسـط پای دوچرخه‌سـوار به رکاب وارد می‌شـود. هر کدام از اثرهای چرخشی زیر مربوط به کدام وضعیت رکاب اسـت؟ برای پاسـخ خود دلیل کافی بیاورید. (اشـاره: مثال ۴-۱ را ببینید.)

(i) ۲۵N× ۰/۲۰m = ۵N.m،

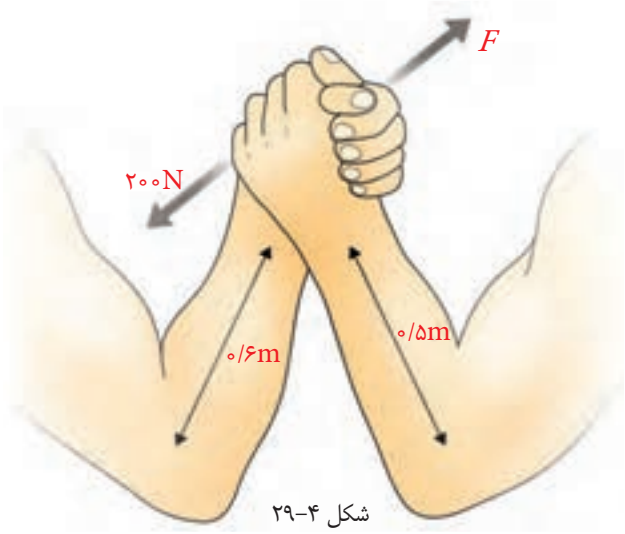
(ii) صفر،

(iii) بین صفر و ۵N.m.



شکل ۴-۲۸

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



شکل ۴-۲۹

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

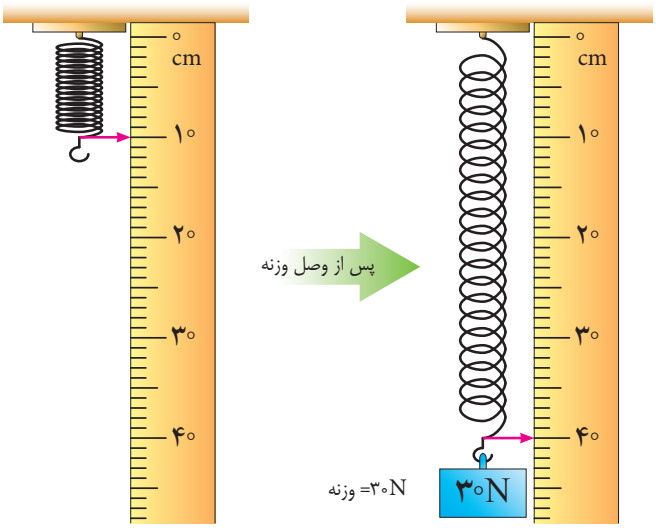
الف) افزایش طول فنر به ازای نیروی ۳۰N چقدر است؟

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

پ) اگر نیروی ۱۰N به آن واردشود، 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.



شکل ۴-۳۰

فصل ۸

کار و انرژی

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

سیمای فصل

۵-۱ کار

۵-۲ کار و انرژی جنبشی

۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

۵-۴ توان

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

کار و انرژی

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

پرواز در آسـمان و بر فراز دریاها، بالا بردن وسـایل به طبقه‌ی فوقانی یک سـاختمان، فرستادن ماهواره به مدار خاصی دور زمین، پرتاب کردن توپ بازی، فرسـتادن انسـان به ایستگاه بین‌المللی فضایی و ... نمونه‌هایی از حرکت هسـتند 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 سـوی یکی از طرف‌های درگیر، به پایان رسـیده‌اند. در علوم دوره‌ی راهنمایی و همچنین درس فیزیک (۱) و آزمایشـگاه 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 این‌که با تفصیل بیش‌تری درباره‌ی انرژی بحث خواهیم کرد با مفهوم کار و ارتباط آن با انرژی آشنا می‌شویم.

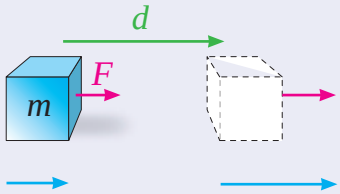
شکل ۵-۱

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.m) است که ژول (J) نامیده می‌شود. به این ترتیب اگر نیرویی به بزرگی ۱N جسمی را به اندازه‌ی ۱m در امتداد نیرو جابه‌جا کند، کار انجام شده برابر ۱J است



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.

پرسش ۵-۱

توضیح دهید کار کمیتی نرده‌ای است یا برداری.

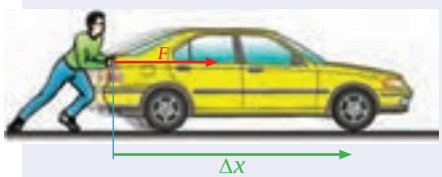
مثال ۵-۱

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 ۷۵۰N باشد، چقدر کار باید توسط این شخص انجام شود تا اتومبیل ۲۰m جابه‌جا شود؟

حل: بزرگی نیروی وارد شده، F =۷۵۰N و بزرگی جابه‌جایی در جهت نیرو d =۲۰m است. با توجه به تعریف کار برای نیروی ثابت داریم

$$W= Fd =(۷۵۰N)\ (۲۰m) = ۱۵۰۰۰N.m=۱۵۰۰۰J$$

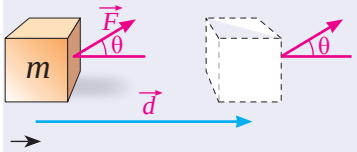
برای سادگی می‌توانید نتیجه‌ی حاصل را بر حسب کیلوژول (kJ) به صورت ۱۵kJ نیز بنویسید.



شکل ۵-۳

در صورتی‌که مطابق شکل ۵-۴ نیروی وارد شده به جسم با امتداد جابه‌جایی جسم زاویه‌ی Θ بسازد، کار نیروی ثابت F از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W=Fd\cos\Theta$$



شکل ۵-۴ راستای نیروی ثابت $\vec{F}$ با جابه‌جایی $\vec{d}$ زاویه‌ی Θ می‌سازد.

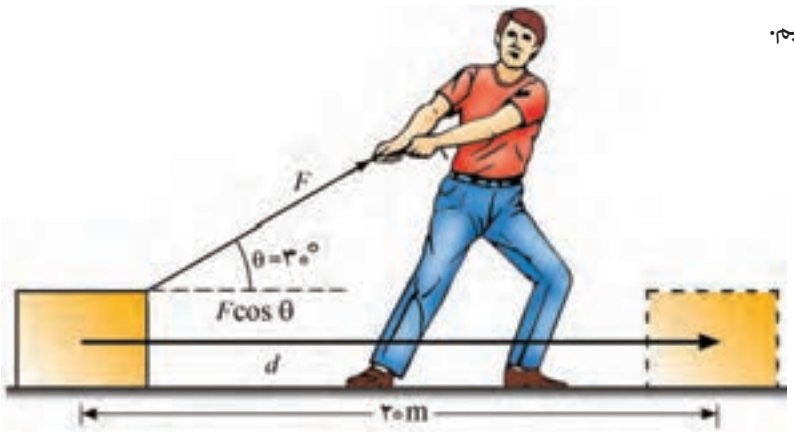
مثال ۵-۲

شکل ۵-۵ شخصی را نشان می‌دهد که با نیروی ثابت ۲۰۰N در حال کشیدن جسمی روی یک سطح افقی است. کار انجام شده پس از جابه‌جایی جسم به اندازه‌ی ۷m چقدر است؟

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

$$W=Fd\cos\theta=(200N)(7m)(\cos30^\circ)=700\sqrt{3}\,J$$

با توجه به این که $\sqrt{3}\simeq1/7$ است، پاسخ نهایی را می‌توانیم به صورت $W\simeq1190J$ بنویسیم.



شکل ۵-۵

جیمز ژول (۱۸۸۹-۱۸۱۸) 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 $m=2kg$ را مطابق شکل ۵-۶ با نیروی ثابت و رو به بالای $\vec{F}$ و با حرکت یکنواخت ۱/۲m بالا می‌بریم. با فرض این‌که $g=10N/kg$ است،

الف) کار هریک از نیروهای وارد شده به جسم را به طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار برایند نیروهای وارد بر جسم را به دست آورید.

حل: با توجه به این که جسم به طور یکنواخت رو به بالا حرکت می‌کند، از فصل سوم می‌دانیم که باید برایند 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 می‌شود یکسان باشد. یعنی، $F=W$. از آنجا که وزن جسم $W=mg=(2kg)(10N/kg)=20N$ است، داریم $F=20N$.

الف)ابتدا کار نیروی ثابت $\vec{F}$ را پیدا می‌کنیم. چون جابه‌جایی جسم در جهت نیروی $\vec{F}$ است ($\theta=0$)، کار انجام شده توسط این نیرو برابر است با:

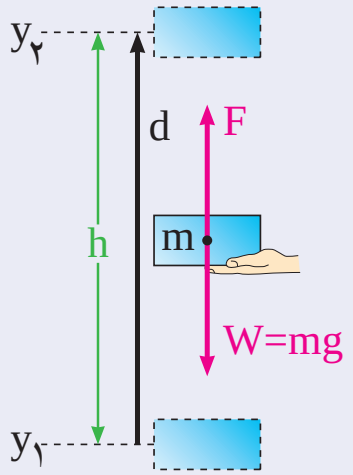
$$W=Fd\cos\theta=(20N)(1/2m)(\cos 0^\circ)=24J$$

توجه کنید $\cos 0^\circ=1$.

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

$$W=Fd\cos\theta=(20N)(1/2m)(\cos 180^\circ)=-24J$$

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، برایند آن‌ها صفر خواهد شد. بنابراین کار برایند این دو نیرو نیز صفر می‌شود (چرا؟).



شکل ۵-۶ جسمی را به طور یکنواخت در راستای قائم جابه‌جا می‌کنیم.

۵-۲ کار و انرژی جنبشی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی متناظر با حالت حرکت جسم، انرژی جنبشی نامیده می‌شود 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:

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

شبیه‌سازی

- کار نیروی ثابت

مثال ۵-۴

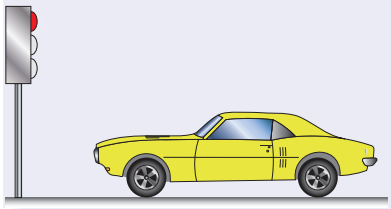
اتومبیلی به جرم ۱۲۰۰kg که با سرعت ۱۵m/s در حرکت است با قرمز شدن چراغ به آرامی ترمز می‌کند و پس از طی مسافتی متوقف می‌شود (شکل ۵-۷). تغیر انرژی جنبشی اتومبیل را در این دو وضعیت پیدا کنید.

حل: سرعت اتومبیل در وضعیت اول $v_1=15\ m/s$ و در وضعیت دوم که به حال سکون در می‌آید $v_2=0$ است.

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

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

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



شکل ۵-۷ اتومبیلی با قرمز شدن چراغ متوقف می‌شود.

اگر تغییر انرژی جنبشی اتومبیل را به صورت $\Delta K=K_2-K_1$ نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\Delta K= 0-135000\ J= -135000\ J$$

علامت منفی نشان می‌دهد انرژی جنبشی اتومبیل کاهش یافته است.

بیش‌تر 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 برایند 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_1 و K_2 باشد، داریم:

$$W=K_2-K_1$$

که در آن W کار برایند نیروهای وارد بر جسم است.

با توجه به رابطه‌ی بالا می‌توان دریافت که انرژی جنبشی اجسام چگونه تغییر می‌کند. اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی مثبت باشد، $K_2> K_1$ است و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی منفی باشد، $K_2< K_1$ است و انرژی جنبشی آن کاهش می‌یابد. سرانجام اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، $K_2=K_1$ است و انرژی جنبشی آن تغییر نمی‌کند.

مثال ۵-۵

توپی به جرم ۵۰۰ گرم را از ارتفاع ۲ 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 ۱۰N/kg فرض کنید.

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

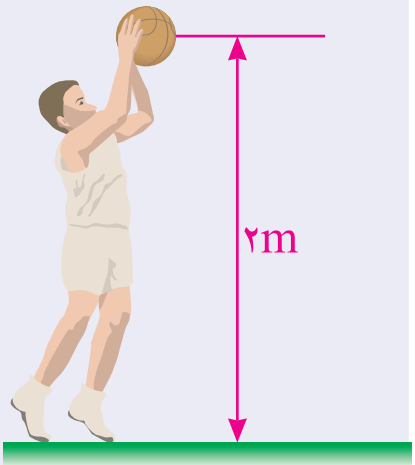
$$W=Fd\cos\theta = mgh\cos 0^\circ$$

$$= (0/5kg)\ (2m)\ (10N/kg)\ (1) = 10J$$

چون توپ از ارتفاع ۲ متری رها شده است، انرژی جنبشی اولیه‌ی آن صفر است. بنا بر قضیه‌ی کار – انرژی داریم:

$$W=K_2-K_1$$

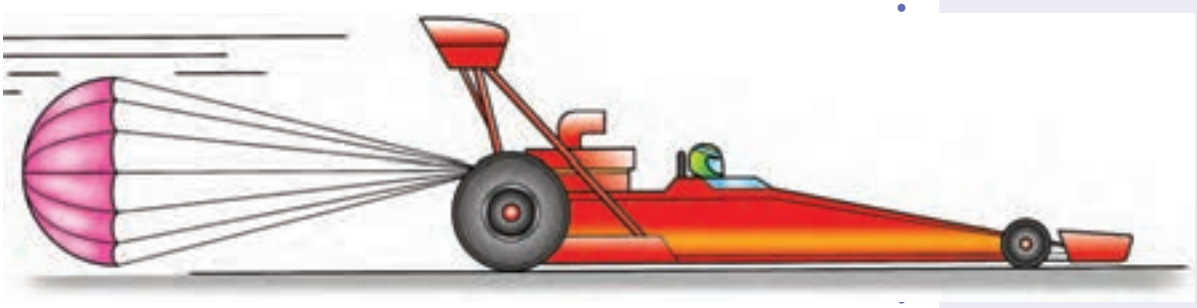
$$10J = K_2-0 \Rightarrow K_2= 10J$$



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

مثال ۵-۶

یـک اتومبیل مسـابقه‌ای به جرم ۶۰۰kg با سـرعت ۲۸۸km/h در حرکت اسـت. این اتومبیل برای توقف سـریع علاوه بر ترمز کردن از چتری که در پشـت 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

$$v_1 = ۲۸۸\ km/h = ۲۸۸ \times \frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = ۸۰m/s$$

در نتیجه انرژی جنبشی آن در این وضعیت برابر است با

$$K_1 = \frac{۱}{۲} mv_1^۲ = \frac{۱}{۲}(۶۰۰kg)(۸۰m/s)^۲ = ۱۹۲۰۰۰۰J$$

وقتی اتومبیل ترمز می‌گیرد نیروی اصطکاک از طرف زمین به آن وارد می‌شود. همچنین وقتـی چترش را بـاز می‌کند نیروی مقاومت هـوا افزایش می‌یابد. به عبـارت دیگر نیروی اصطـکاک و نیروی مقاومت هوا بر خلاف جهت حرکت اتومبیل بر آن وارد و سـبب توقف سـریع اتومبیل مسـابقه‌ای می‌شـوند. اگر کار این دو نیروی مقاوم در برابر حرکت را با W_f نشان دهیم، کار برایند نیروهای وارد بر اتومبیل برابر است با

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

که در آن W_N کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و W_{mg} کار نیروی وزن اتومبیل است.

چـون نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن عمود بر راسـتای جابه‌جایی اتومبیل‌اند، کار ناشی از آن‌ها صفر است (چرا؟). بنابراین با توجه به قضیه‌ی کار - انرژی داریم

$$W = K_2 - K_1 \quad \text{و} \quad W = W_f + ۰ + ۰ \Rightarrow W_f = K_2 - K_1$$

$$W_f = ۰ - ۱۹۲۰۰۰۰J = -۱۹۲۰kJ$$

علامت منفی نشـان می‌دهد کار نیروهای مقاوم سـبب کاهش انرژی جنبشـی جسـم می‌شوند.

تمرین ۵-۲

بازیکنی توپ فوتبالی به جرم ۴۵۰ گرم را از نقطه‌ی پنالتی با سرعت ۱۸m/s به طرف دروازه شـوت و توپ با سرعت ۱۵m/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؟

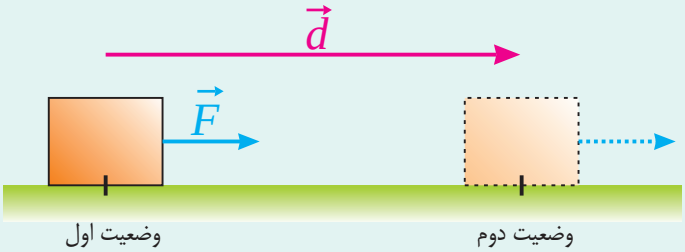
مطالعه‌ی آزاد

اثبات قضیه کار–انرژی

برای اثبات قضیه‌ی کار–انرژی، جسمی به جرم m را مطابق شکل ۵ – ۱۰ در نظر بگیرید که برایند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر $\vec{F}$ اسـت. اگر جسـم تحت‌تأثیر این نیرو به اندازه‌ی d جابه‌جا شود، کار انجام شده برابر است با

$$W=Fd$$

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



شکل ۵-۱۰ جسم در راستای برایند نیروها (محور افقی x) شتاب می‌گیرد.

$$F=ma \quad (۱)$$

چون بر اثر اعمال نیروی ثابت F، جسم با شتاب ثابت a حرکت می‌کند، بنابراین پس از جابه‌جایی d، سرعت آن از مقدار $v_۱$ (در وضعیت اول) به مقدار $v_۲$ (در وضعیت دوم) می‌رسد. به این ترتیب با توجه به معادله‌های حرکت با شتاب ثابت که در فصل دوم آشنا شدیم، داریم

$$v_۲^۲-v_۱^۲=۲ad$$

یا

$$a=\frac{v_۲^۲-v_۱^۲}{۲d} \quad (۲)$$

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

$$F=m\left(\frac{v_۲^۲-v_۱^۲}{۲d}\right)$$

یا

$$Fd=\frac{۱}{۲}mv_۲^۲-\frac{۱}{۲}mv_۱^۲ \Rightarrow W=K_۲-K_۱$$

عبارت بالا همان رابطه‌ی مربوط به قضیه‌ی کار–انرژی است، یعنی $W=K_۲-K_۱$.

۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی‌ای 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

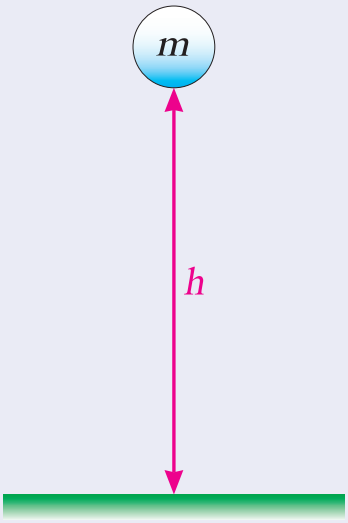
$$U=mgh$$

هنگامی‌که 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 ۱۰m/s به طرف بالا پرتاب می‌کنیم (شکل ۵-۱۲) با فرض $g=10N/kg$ ، 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. هنگامی‌که 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

$$E_1=E_2$$

$$K_1+U_1=K_2+U_2$$

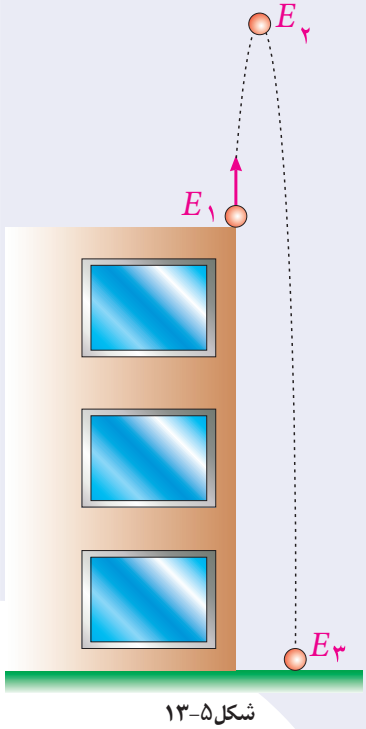
$$\frac{1}{2}mv_1^2+mgh_1=0+mgh_2$$

با حذف جرم m از دو طرف معادله داریم

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

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

$$\Rightarrow h_2=9m$$



شکل ۵-۱۳

ب) هنگام برخورد گلوله به سطح زمین، انرژی پتانسیل آن صفر خواهد شد، یعنی $U_۳=۰$. بنابراین

$$E_۱=E_۳$$

$$K_۱+U_۱=K_۳+U_۳$$

$$\frac{۱}{۲}mv_۱^۲+mgh_۱=\frac{۱}{۲}mv_۳^۲+۰$$

با حذف جرم m از دو طرف معادله داریم

$$\frac{۱}{۲}v_۱^۲+gh_۱=\frac{۱}{۲}v_۳^۲$$

$$\frac{۱}{۲}\times(۱۰m/s)^۲+(۱۰N/kg)(۴m)=\frac{۱}{۲}v_۳^۲$$

$$\Rightarrow v_۳=\sqrt{۱۸۰}\ m/s\simeq ۱۳/۵\ m/s$$

بیش‌تر بدانید

- منابع انرژی

شبیه‌سازی و فعالیت عملی

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

مثال ۵-۸

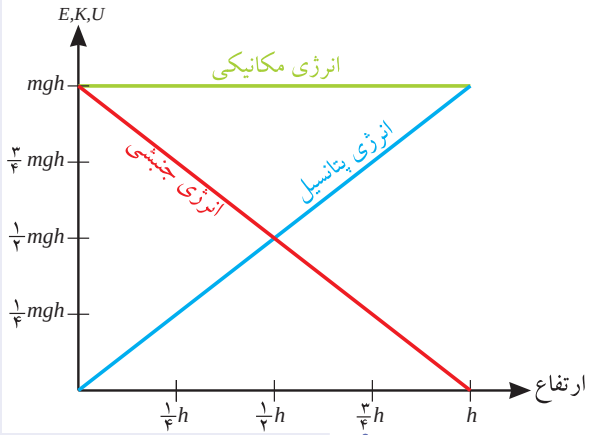
جسمی را از ارتفاع h نسبت به سطح زمین در شرایط خلأ رها می‌کنیم. نمودار تغییرات انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی مکانیکی مربوط به یک جسم در حال سقوط را بر حسب ارتفاع آن رسم کنید.

حل: انرژی پتانسیل جسم در حال سقوط به صورت رابطه‌ی U=mgh بر حسب ارتفاع تغیر می‌کند (خط آبی در نمودار شکل ۵-۱۳).

با توجه به این‌که انرژی مکانیکی جسم در حین سقوط پایسته می‌ماند داریم

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

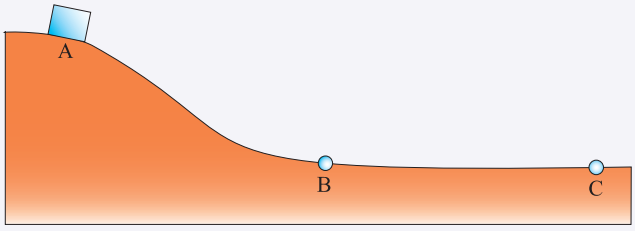
بنابراین نمودار انرژی جنبشی جسم در حال سقوط بر حسب ارتفاع به صورت خط قرمز در نمودار شکل ۵-۱۳ است. توجه کنید انرژی مکانیکی جسم پایسته و مقدار آن همواره برابر mgh است. (رنگ سبز در نمودار شکل ۵-۱۳)



شکل ۵-۱۳

تمرین ۵-۳

جسمی به جرم ۲۰۰ گرم از نقطه‌ی A که ۲ متر بالاتر از نقطه‌های B و C است از حال سکون شروع به حرکت می‌کند (شکل ۵-۱۴). مسیر AB بدون اصطکاک است و در مسیر BC حدود ۲۰ درصد انرژی جسم صرف غلبه بر اصطکاک می‌شود. با استفاده از قانون پایستگی انرژی، سرعت جسم را در هر یک از نقطه‌های B و C پیدا کنید.



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:

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

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.

شکل۵-۱۶ جیمز وات (۱۸۱۶ - ۱۷۳۶) دانشمند اسکاتلندی، با وجود این که زندگی‌اش با فقر وتهیدستی قرین بود، توانست ماشین بخاری بسازد که بازده وسرعت عمل خوبی داشت. واحد توان در SI به احترام او وات(W) نامیده می‌شود.

مثال ۵-۹

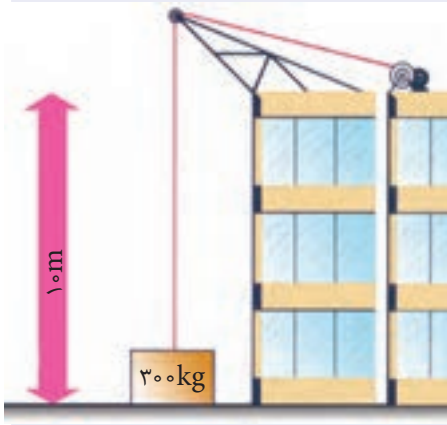
از یک بالابر برقی برای بالا کشیدن باری به جرم ۳۰۰kg تا بالای ساختمانی به ارتفاع ۱۰m استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۵). اگر ۱۵ ثانیه طول بکشد تا این بار با سرعت ثابت به بالای ساختمان منتقل شود، توان بالابر چقدر است؟ (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

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

$$W = mgh = (۳۰۰kg)(۱۰Nkg)(۱۰m) = ۳\times۱۰^{۴}J$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۳\times۱۰^{۴}J}{۱۵s} = ۲۰۰۰W$$

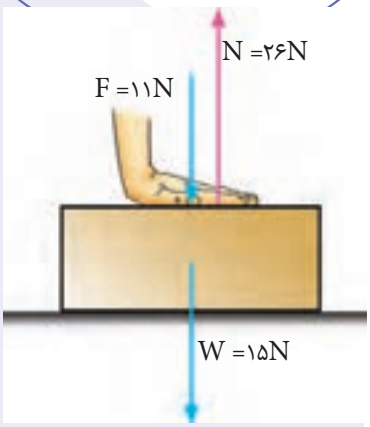


شکل۵-۱۵

تمرین ۵-۴

یک تلمبه‌ی برقی با توان ۱۵۰۰ وات در چه مدت ۲۰۰۰ لیتر آب را از چاهی به عمق ۲۵ متر به سطح زمین منتقل می‌کند؟ توجه کنید جرم هر لیتر آب برابر ۱kg است. (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

پرسش‌های مفهومی



شکل۵-۱۶

شکل۵-۱۷

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.

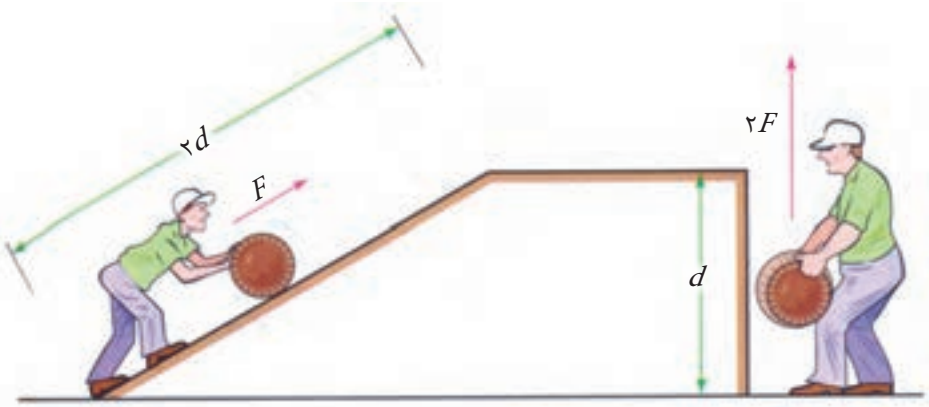
پ) یک موتور الکتریکی باری را از روی زمین بلند می‌کند.

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 شده اند. با ذکر دلیل نوع علامت کار انجام شده توسط هریک از این نیروها را تعیین کنید.

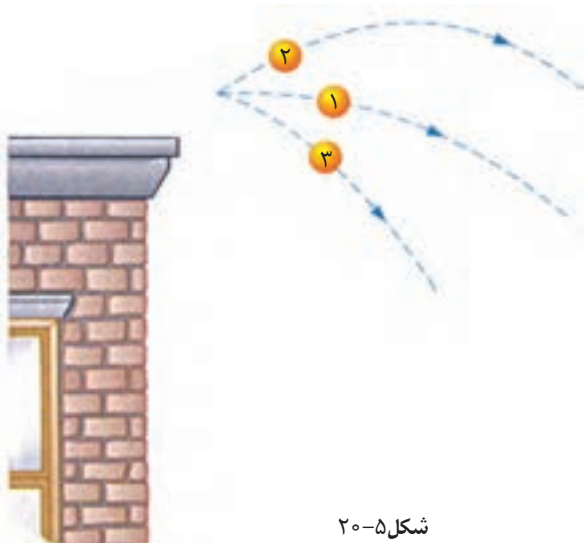
شکل۵-۱۸

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



شکل۵-۱۹

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



شکل۵-۲۰

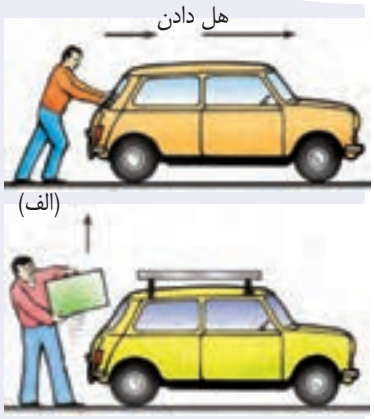
۷- دانش‌آموزی می‌گوید توان من بیش‌تر از توان دوسـتم اسـت. منظـور او از این‌گفته چیست؟

مسئله‌ها

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

الف) شخصی یک اتومبیل را با نیروی افقی ۷۰۰N به اندازه‌ی ۱۰m هل می‌دهد (شکل ۵-۲۱ الف).

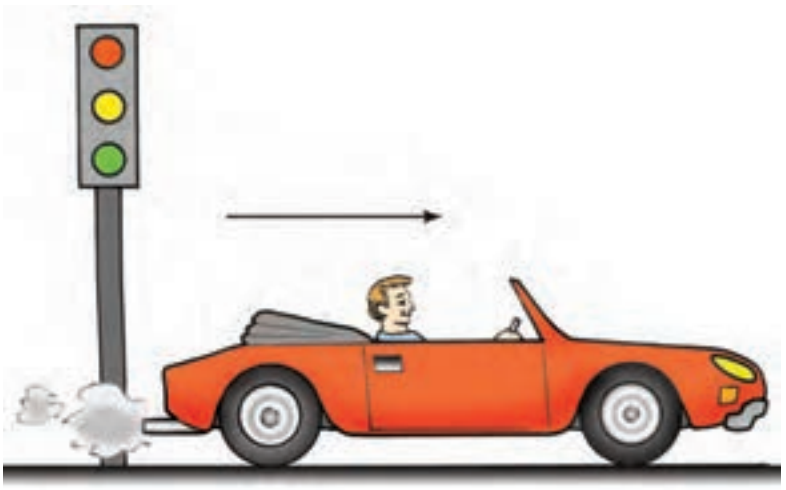
ب) شخصی چمدانی به جرم ۳۰kg را به اندازه‌ی ۱۵۰cm بالا می‌برد تا روی باربند اتومبیلی قرار دهد (شکل ۵-۲۱ ب).



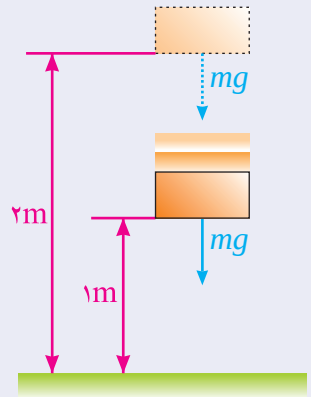
شکل۵-۲۱

۲- وزنه‌برداری وزنه‌ی ۲۶۵kg را بالای سر خود می‌برد. اگر بیش‌ترین ارتفاع وزنه از سطح زمین به ۱/۹m رسیده باشد، در این عمل چقدر کار انجام شده است؟ اگر او وزنه را ۴s در بالای سر نگه داشته باشد، چند ژول دیگر کار انجام شده است؟ توضیح دهید.

۳- اتومبیلی به جرم ۱۰۰۰kg با شتاب ثابت $2m/s^2$ از حال سکون در امتداد خط راستی به حرکت در می‌آید (شکل ۵-۲۲). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل در دو ثانیه‌ی شروع حرکت چقدر است؟


شکل۵-۲۲

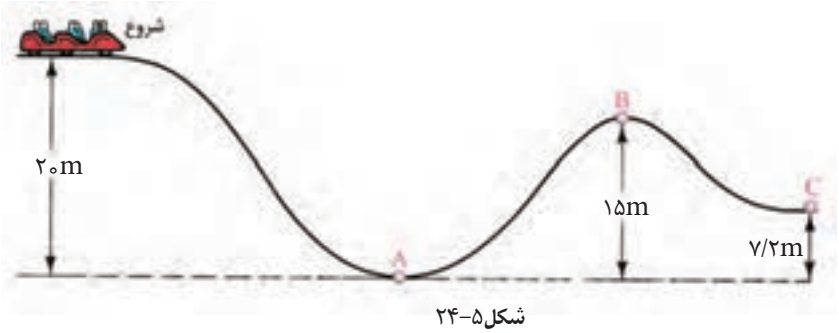
۴- جسمی به جرم ۲kg از ارتفاع ۲ متری سطح زمین رها می‌شود (شکل ۵-۲۳). انرژی‌های جنبشی، پتانسیل و مکانیکی را در میانه‌ی راه پیدا کنید. (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و مقاومت هوا را نادیده بگیرید.)



شکل۵-۲۳

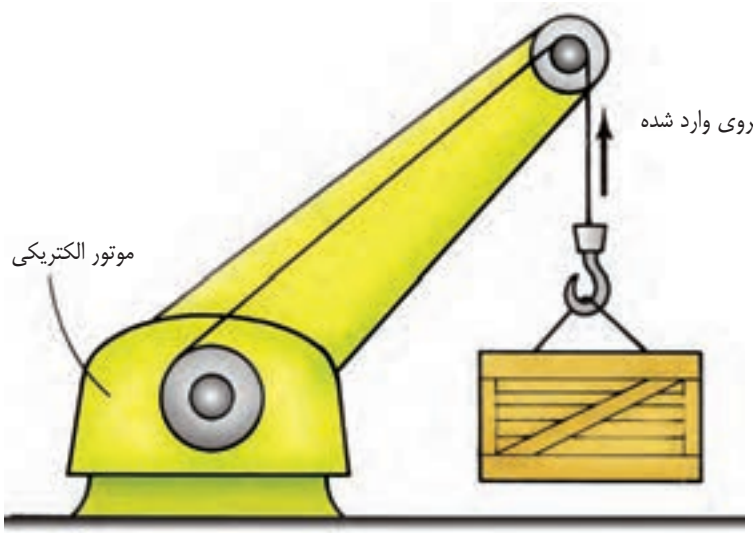
۵- یک واگن تفریحی به جرم کل ۵۰۰kg از ارتفاع ۲۰ متری سطح زمین روی خط آهن ویژه‌ای شروع به حرکت می‌کند (شکل ۵-۲۴). سرعت واگن را در هریک از نقطه‌های A،

B،C، پیدا کنید. (شـتاب گرانش را ۱۰N/kg و اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسـیر نادیده بگیرید.)



شکل۵-۲۴

۶- یـک موتـور الکتریکی می‌تواند جعبه‌ای به جرم ۲ تن را در مدت ۳۰ ثانیه به اندازه‌ی ۵ متر بالا ببرد (شکل ۵-۲۵). توان این موتور الکتریکی چقدر است؟



شکل۵-۲۵

فصل ۹

چگالی و فشار

آیا انجام این کار روی زمین نیز امکان‌پذیر است؟

سیمای فصل

۶-۱ چگالی

۶-۲ نیرو و فشار

۶-۳ فشار در مایع‌ها وگازها

۶-۴ اصل ارشمیدس و شناوری

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

چگالی و فشار

چرا شـخصی که چوب اسـکی به پا دارد، کم‌تـر در برف فرو می‌رود؟ چـرا در قله‌های مرتفع کوه‌ها، نفس کشـیدن دشـوارتر است؟ چرا هنگامی که به جاهای عمیق‌تر استخر می‌رویم احساس فشار بیش‌تری روی گوش‌های خود می‌کنیم ؟ چرا جابه‌جایی جسم‌های سنگین درون آب راحت‌تر است؟ چه عاملی سبب شناور شدن کشتی‌های فولادی کوچک و بزرگ روی آب می‌شود؟

درایـن فصل بـا برخی از ویژگی‌های مهم ماده آشـنا خواهیم شـد که ما را قادر می‌سـازد به پرسش‌هایی از قبیل آنچه ذکر شد با دقت علمی خوبی پاسخ دهیم.

۶-۱ چگالی

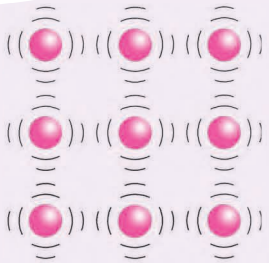
یکی از ویژگی‌های اصلی هر ماده در همه‌ی حالت‌ها (جامد، مایع و گاز) چگالی است. چگالی نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی ماده تا چه حد فشرده‌اند (شکل ۶-۱). نسبت جرم به حجم هر جسمی را چگالی آن جسم می‌نامند و آن را با حرف یونانی ρ (بخوانید رُ) نشان می‌دهند.

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

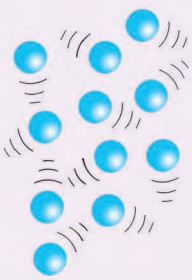
یکای چگالی در SI با توجه به تعریف بالا کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) است. در جدول ۶-۱ چگالی چند ماده‌ی مختلف داده شده است.

جدول ۶-۱ چگالی چند ماده‌ی مختلف در دمای $0\,^{\circ}C$ و فشار جوّی (۱atm)

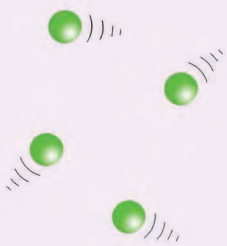
ماده	حالت	چگالی (kg/m^3)
یخ	جامد	۹۲۰
چوب‌پنبه	جامد	۲۵۰
چوب	جامد	۶۵۰
فولاد	جامد	۷۹۰۰
آلومینیوم	جامد	۲۷۰۰
مس	جامد	۸۹۴۰
طلا	جامد	۱۹۳۲۰
نقره	جامد	۱۰۵۰۰
روی	جامد	۶۹۰۰
سرب	جامد	۱۱۳۵۰
جیوه	مایع	۱۳۶۰۰
آب ($4\,^{\circ}C$)	مایع	۱۰۰۰
روغن ذرت	مایع	۹۰۰
الکل	مایع	۸۰۰
هوا	گاز	۱/۲۹
اکسیژن	گاز	۱/۴۳
کربن دی‌اکسید	گاز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



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



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



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

شکل ۶-۱

فعالیت عملی

- اندازه‌گیری چگالی چند جسم مختلف

آزمایشگاه مجازی

- چگالی

بیش تر بدانید

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

پرسش ۶-۱

آیا می‌توانید بین شکل۶-۱و مقدارهای جدول۶-۱ ارتباط معناداری برقرار کنید. شرح دهید.

مثال ۶-۱

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 ۶-۱ ($\rho = ۱۰۵۰۰ kg/m^۳$) و جرم مجسمه از صورت مسئله ($m=۴۲۰\ g = ۰/۴۲kg$) در رابطه‌ی بالا داریم

$$۱۰۵۰۰ kg/m^۳ = \frac{۰/۴۲kg}{V} \Rightarrow V = \frac{۰/۴۲kg}{۱۰۵۰۰kg/m^۳} = ۴\times۱۰^{-۵} m^۳$$

از آنجا که $۱m^۳=۱۰^۶cm^۳$ است داریم $V=۴۰cm^۳$.

مثال ۶-۲

طول، عرض، و ارتفاع اتاقی به ترتیب ۴m، ۲mو ۳m است. جرم و وزن هوای درون این اتاق در یک روز نسبتاً سرد زمستانی (دمای هوا $۰^\circ C$) 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:

$$V=۴m\times۲m\times۳m=۲۴m^۳$$

همچنین از جدول۶-۱چگالی هوا برابر $۱/۲۹kg/m^۳$ است. پس:

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

$$\Rightarrow m = (۱/۲۹kg/m^۳)(۲۴m^۳) = ۳۰/۹۶kg$$

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

$$W=mg=(۳۰/۹۶\ kg)(۱۰N/kg) = ۳۰۹/۶\ N$$

مثال ۶-۳

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

حل: با توجه به این‌که هر یک متر مکعب ($۱m^۳$) معادل هزار لیتر ($۱۰^۳lit$) است، داریم

$$۱lit = ۱۰^{-۳}m^۳ \quad یا \quad ۱m^۳ = ۱۰۰۰lit$$

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

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

$$\Rightarrow m = (۱۰۰۰\ kg/m^۳)(۱۰^{-۳}m^۳) = ۱kg$$

به عبارت دیگر جرم هر لیتر آب برابر ۱kg است.

ابوریحان محمد ابن احمد بیرونی (۳۵۱ شمسی- ۴۲۵ شمسی)، دانشمند برجسته‌ی ایرانی در حومه‌ی شهر کاث، 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 تالیف ها، ترجمه‌ها و آثار نیمه تمام او به ۱۸۰عنوان می‌رسد که دست کم ۱۱۵ عنوان از آن ها به ریاضیات و نجوم اختصاص داشته و از این تعداد تنها ۲۸ عنوان به دست ما رسیده است.

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

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

تمرین ۶-۱

هنگامی‌که 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 ۶-۱

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

شکل ۶-۳

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 ۶-۴

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

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 ۶-۵).

اگر نیرویی روی یک سطح کوچک متمرکز شود، فشار بزرگی ایجاد می‌شود.

اگر نیرویی روی یک سطح بزرگ توزیع شود، فشار کوچکی ایجاد می‌کند.

شکل ۶-۵

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

فشار ایجاد شده در نوک میخ برای سوراخ کردن چوب، به حد کافی بزرگ است.

اگرنوک میخ کند باشد، فشار کم‌تر است ونوک آن نمی‌تواند درون چوب فرو رود.

کارد تیز فشار زیادی ایجاد می‌کند، درنتیجه نان به‌راحتی بریده می‌شود.

اگر تیغه کند باشد، نیرو روی سطح بزرگ‌تری توزیع می‌شود، فشار کم‌تر است ونان به‌راحتی بریده نمی‌شود.

شکل ۶-۶

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

مثال ۶-۴

یک قطعه‌ی مکعبی شکل به وزن ۲۰۰N را در دو وضعیت مختلف روی سطح زمین قرار می‌دهیم (شکل ۶-۷). فشار وارد شده به سطح را در هر حالت پیدا کنید.

حل: نیروی ۲۰۰N که در هردو 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

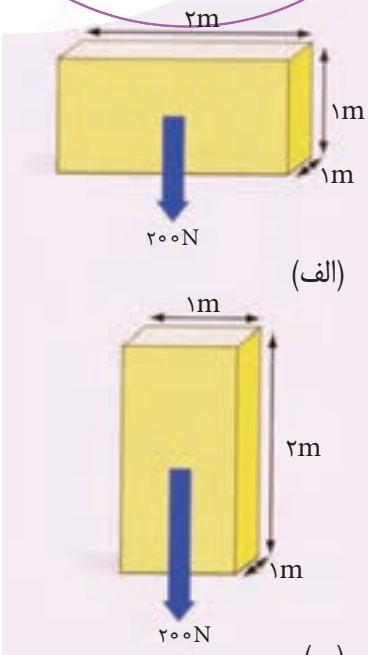
$$F = ۲۰۰N \quad ، \quad A = ۱m \times ۲m = ۲m^۲$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰\,N}{۲m^۲} = ۱۰۰\,Pa$$

و در حالت (ب) داریم

$$F = ۲۰۰N \quad ، \quad A = ۱m \times ۱m = ۱m^۲$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰\,N}{۱m^۲} = ۲۰۰\,Pa$$



شکل ۶-۷

مثال ۶-۵

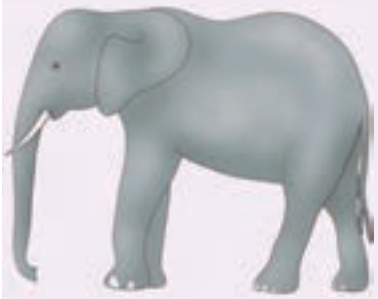
وزن فیلی ۲۰۰۰۰N و مساحت سطح هر پای آن ۰/۲۵m^۲ است (شکل ۶-۸). فشاری که از طرف فیل بر سطح زمین وارد می‌شود چقدر است؟

حل: چون فیل روی چهار پای خود ایستاده است، داریم

$$A = ۴ \times ۰/۲۵m^۲ = ۱m^۲$$

بنابراین با توجه به تعریف فشار داریم

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰۰۰\,N}{۱m^۲} = ۲۰۰۰۰\,Pa$$



شکل ۶-۸

تمرین ۶-۲

وزن اسکی بازی ۷۵۰N و فشاری که از طرف او بر سطح زمینی وارد می‌شود ۳۰۰۰Pa است (شکل ۶-۹). مساحت سطح هر چوب اسکی چقدر است؟

شکل ۶-۹

۶-۳ فشار در مایع‌ها و گازها

فشـار در مایع‌هـا: هنگامی‌که دسـت خود را جلوی آبی که از شـیلنگ بیـرون می‌ریزد بگیریم، می‌توانیم فشـار آب را احساس کنیم (شـکل ۶-۱۰). همچنین وقتی قسمتی از دست ما بریده شود خون از محل بریده شده بیرون می‌آید که ناشی از فشار خون است. یا هنگامی‌که به ناحیه‌ی عمیق یک اسـتخر آب می‌رویم، فشـار آب را به خوبی احسـاس می‌کنیم. در این بخش خواهیم دید فشار یک مایع به چه عواملی بستگی دارد و چگونه می‌توان آن را اندازه گرفت.

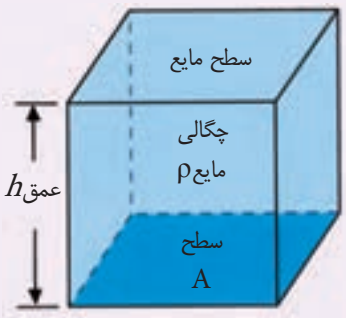
شکل۶-۱۰

در شـکل ۶-۱۱ ستونی از یک مایع به ارتفاع h، مساحت قاعده‌ی A، و چگالی ρ 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

$$p=\frac{F}{A}=\frac{W}{A}=\frac{\rho Ahg}{A}=\rho gh$$



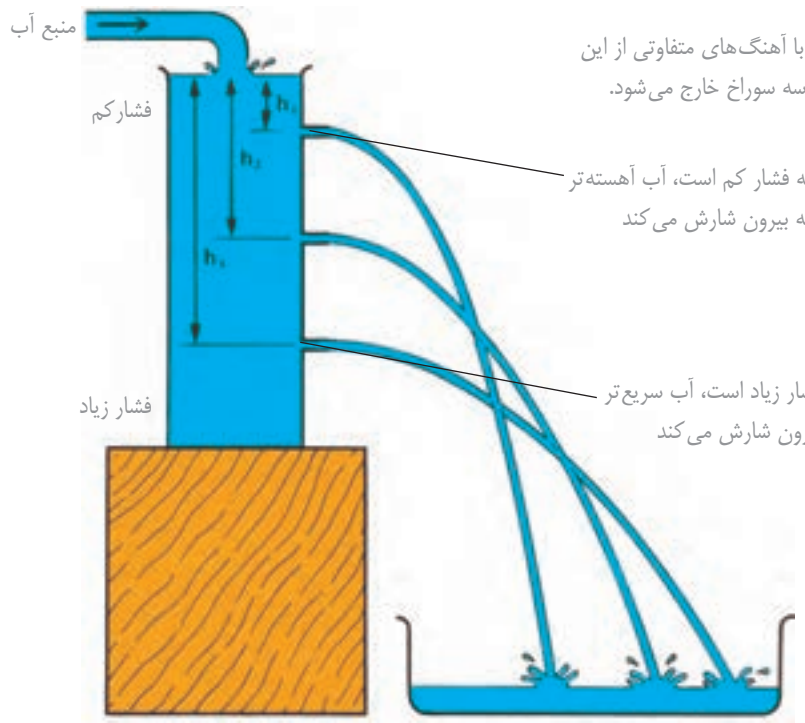
شکل۶-۱۱

به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که فشـار ناشـی از یک مایع ساکن تنها به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و فشار درنقطه‌های هم عمق یکسان است (شکل ۶-۱۲) و هرچه درون مایعی پایین‌تر رویم فشار ناشی از مایع افزایش می‌یابد (شکل ۶-۱۳).

شکل۶ -۱۲سـوراخ‌های ایجاد شده در این ظرف در عمق یکسـانی از سطح مایع قرار دارنـد و در نتیجه آب با آهنگ یکسـانی از آن‌ها خارج می‌شود.

شبیه‌سازی

- فشار در مایع‌ها



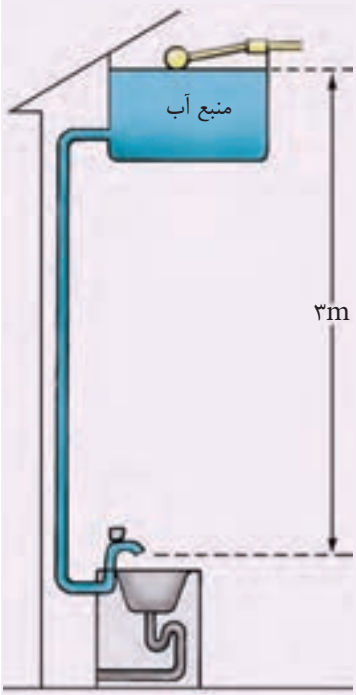
شکل۶-۱۳ این آزمایش ساده به روشنی نشان می‌دهد که فشار در مایع با بیش‌تر شدن عمق، افزایش می‌یابد.

مثال ۶-۷

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

$$p = \rho gh = (1000 kg/m^3)(9/8 N/kg)(3m) = 29400 Pa$$



شکل ۶-۱۴

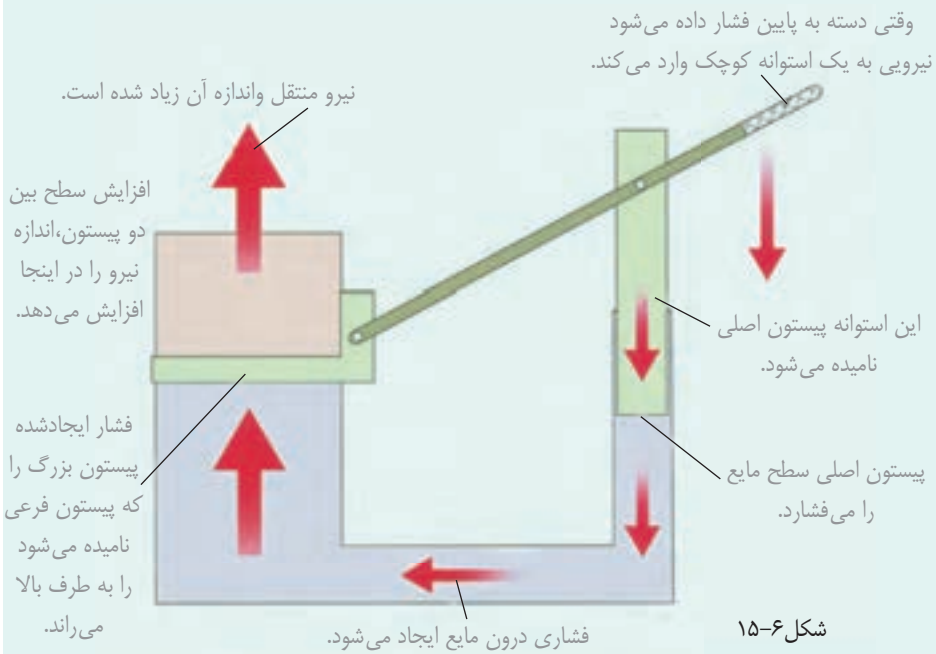
تمرین ۶-۳

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.



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

بیش‌تر بدانید

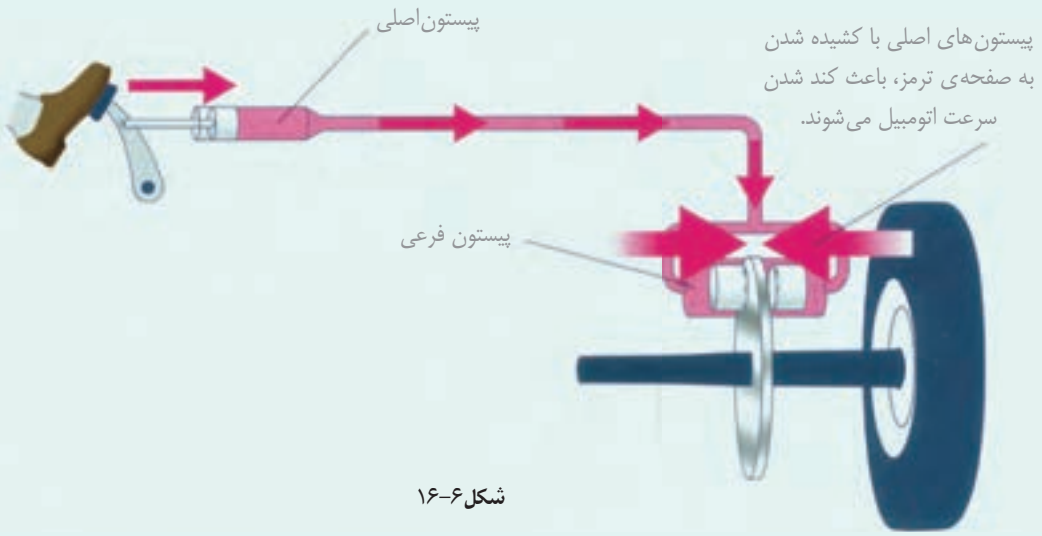
- رفتار مایع در یک ظرف

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.



شکل۶-۱۶

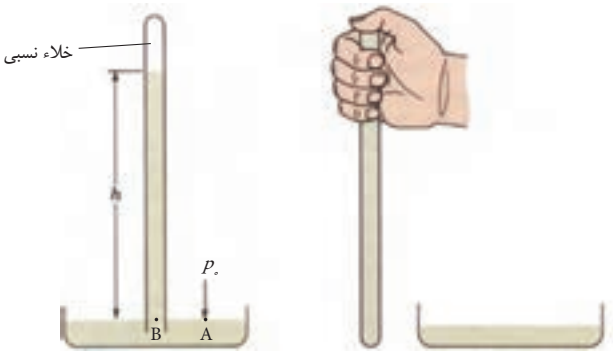
فشار در گازها: وقتی بادکنکی را باد می‌کنیم، هوایی که وارد بادکنک می‌شود از همه طرف به پوسته‌ی بادکنک فشار وارد می‌کند. اگر فشار هوای درون بادکنک از حد معینی زیادتر شود، بادکنک می‌ترکد. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که گازها، همچون مایع‌ها فشار وارد می‌کنند.

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 ۶-۱۷). یک روش معمول برای اندازه‌گیری فشار هوا، استفاده از جوّسنج ساده‌ی جیوه‌ای است.

برای این منظور، یک لوله‌ی شیشه‌ای محکم به طول حدود ۸۰cm تا ۱۰۰cm را که یک سر آن بسته است از جیوه پر می‌کنیم به طوری‌که 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 ۶-۱۸).

شکل۶-۱۷



شکل۶-۱۸

از آنجاکه فشار در نقطه‌های هم‌تراز از یک مایع با یکدیگربرابر است، بنابراین فشار دونقطه‌ی A وB 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 نقطه‌یB برابر است با فشار ستون جیوه‌ای که در بالای آن قرار دارد. در نتیجه داریم

$$p_0=\rho gh$$

که در آن ρ چگالی جیوه و h ارتفاع ستون جیوه است. با جای‌گذاری مقدارهای مربوطه داریم

$$p_0=(۱۳۶۰۰\,kg/m^3)(۹/۸N/kg)(۰/۷۶m)$$

$$=۱/۰۱\times ۱۰^5\,Pa \simeq ۱۰^5\,Pa$$

این فشار یک اتمسفر ($1atm=10^5\,Pa$) نامیده می‌شود.

یعنی فشار هوا در سطح دریا تقریباً 10^5Pa یا 1atm است. معمولاً فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (میلی‌متر یا سانتی‌متر) بیان می‌کنند. توریچلی برای نخستین بار با انجام آزمایش نشان داد فشار هوا در سطح دریا برابر ۷۶۰mmHg (بخوانید ۷۶۰ میلی‌متر جیوه) یا ۷۶cmHg است.

مثال ۶-۷

اختلاف فشار هوا را در پایین و بالای اتاقی به ارتفاع ۳m 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

$$\Delta p=(۱/۳kg/m^3)(۱۰N/kg)(۳m)=۳۹Pa$$

همان‌طور که دیده می‌شود این اختلاف فشار در مقایسه با فشار هوای اتاق، یعنی 10^5Pa، 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 توریچلی (۱۵۴۱-۱۶۲۶) ریاضیدان و فیزیکدان ایتالیایی در ابتدا منشی گالیله بود. او با آزمایش‌های متعدد به این نتیجه رسید که هوا، برخلاف نظر ارسطو، وزن دارد وهمین وزن هواست که آب را داخل تلمبه بالا می‌برد. توریچلی همچنین دستگاهی ساخت که می‌توانست فشار هوا را اندازه بگیرد.

فعالیت عملی

- اثرهای فشار هوا

شبیه‌سازی

- آزمایش توریچلی

مثال ۶-۸

فشار کل وارد بر بدن یک غواص در عمق ۲۰ متری دریا چقدر است؟ چگالی آب دریا را $1150 kg/m^3$ 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

$$p = p_0 + \rho gh$$
$$= 10^5 Pa + (1150 kg/m^3)(9/8 N/kg)(20 m)$$
$$= 10^5 Pa + 225400 Pa = 325400 Pa$$

توجه کنید در این مثال هدف پیدا کردن فشار کل در عمق ۲۰ متری دریاست در حالی‌که در تمرین ۶-۳ باید تنها فشار ناشی از آب را در عمق ۴ متری به دست آوریم. بنابراین هنگام حل مسئله‌هایی به این‌گونه، دقت داشته باشید آیا باید فشار کل را حساب کنید یا تنها فشار ناشی از مایع را.

تمرین ۶-۴

در چه عمقی از دریا فشار کل ده برابر فشار هوا در سطح دریاست؟ (چگالی آب دریا را $1150 kg/m^3$ بگیرید.)

مطالعه‌ی آزاد

فشارسنج بوردون

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.

بیش‌تر 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

۶-۴ اصل ارشمیدس و شناوری

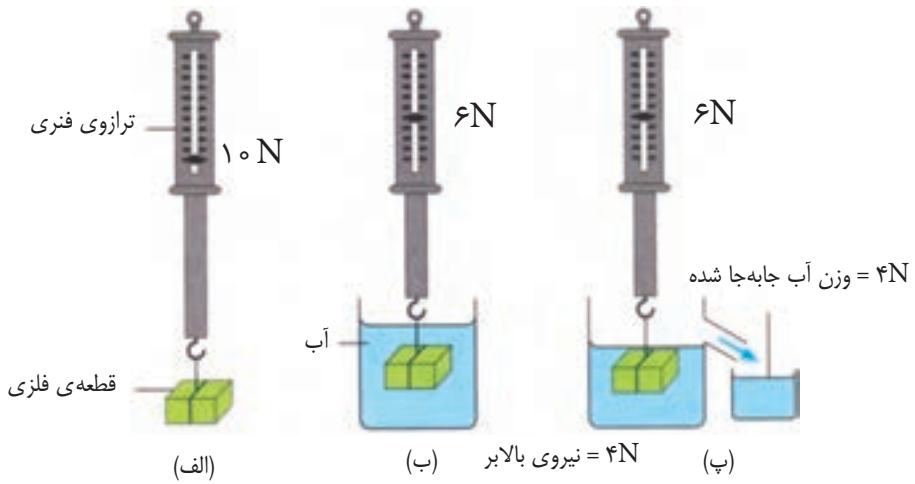
از جدول ۶-۱ دیده می‌شود که چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است، بنابراین انتظار می‌رود که کشتی‌های فولادی سنگین باید در آب فرو روند، در حالی‌که می‌دانیم این کشتی‌ها روی آب شناور می‌مانند (شکل ۶-۲۰). همچنین بارها دیده‌ایم که بیرون آوردن یک جسم سنگین از داخل آب بسیار آسان‌تر از انجام این کار در بیرون آب است.

ارشمیدس دانشمند یونانی، نخستین کسی بود که پی برد به همه‌ی جسم‌هایی که درون مایع قرار می‌گیرند، از طرف مایع یک نیروی بالابر (نیرویی 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 قطعه‌ی فلزی آویزان شده به یک ترازوی فلزی (نیروسنج) را نشان می‌دهد که وزن آن در هوا ۱۰N است. وقتی این قطعه مطابق شکل ۶-۲۱ ب به طور کامل درون آب قرار گیرد، نیروسنج عدد ۶N را نشان می‌دهد. در واقع وزن قطعه ۴N (=۱۰-۶) کاهش یافته است که ناشی از نیروی بالابری است که از طرف آب به قطعه وارد شده است.

اگر ظرفی لوله‌دار مطابق شکل ۶-۲۱ پ تهیه کنیم به طوری‌که 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 ۴N است که دقیقاً برابر نیرو بالا سویی 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.

اصل ارشمیدس: به هر جسمی که به طور کامل یا جزئی درون مایعی فرو رفته باشد، نیروی بالابری وارد می‌شود که با وزن مایع جابه‌جا شده توسط جسم برابر و در سوی مخالف آن است.



شکل ۶-۲۱

ارشمیدس (۲۱۲ ق.م-۲۷۸ق.م) یکی از بزرگترین دانشمندان ریاضی و مکانیک یونانی.

شکل ۶-۲۰

فعالیت عملی
- اصل ارشمیدس

آزمایشگاه مجازی
- شناوری

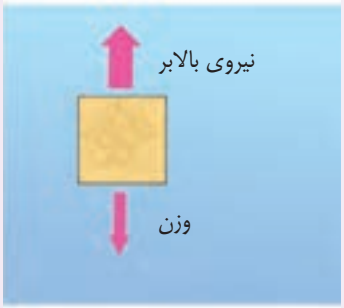
شبیه‌سازی
- اصل ارشمیدس

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.

(الف) نیروی وزن> نیروی بالابر



(ب) نیروی وزن< نیروی بالابر

شکل۶-۲۲

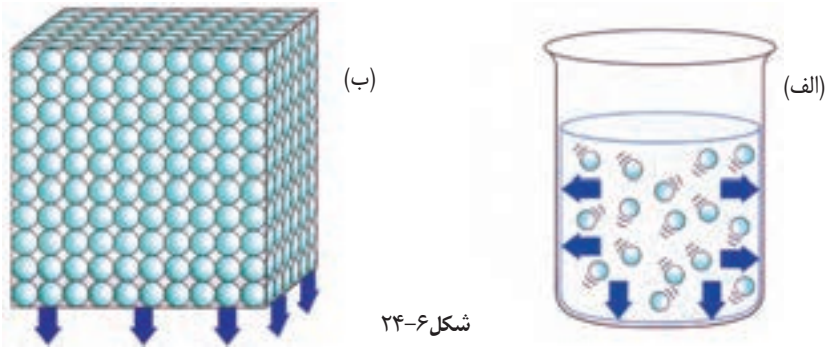
شکل۶-۲۳نیروی بالابر دقیقاً برابر وزن کشتی است و کشتی به صورت شناور روی آب باقی می‌ماند.

بیش‌تر بدانید

- چگالی سنج
- شناورسازی
- کوه‌های یخ شناور
- نیروی شناوری هوا

پرسش‌های مفهومی

۱- در شـکل ۶-۲۴ فشار در جامدها و مایع‌ها با یکدیگر مقایسه شده است برداشت خود را از این دو شکل بیان کنید.



شکل ۶-۲۴

۲- با وجود آن‌که مرتاض روی تعداد زیادی میخ نوک‌تیز خوابیده است ولی میخ‌ها به پوست او نفوذ نمی‌کنند (شکل ۶-۲۵). به کمک مفهوم فشار دلیل این موضوع را توضیح دهید.

شکل ۶-۲۵

۳- دانش‌آموزی سه نوع کفش ورزشی نشان داده شده در شکل ۶-۲۶ را بررسی می‌کند.

الف) توضیح دهید چگونه او می‌تواند سـطح تماس میـان هر کفش را با زمین اندازه‌گیری کند.

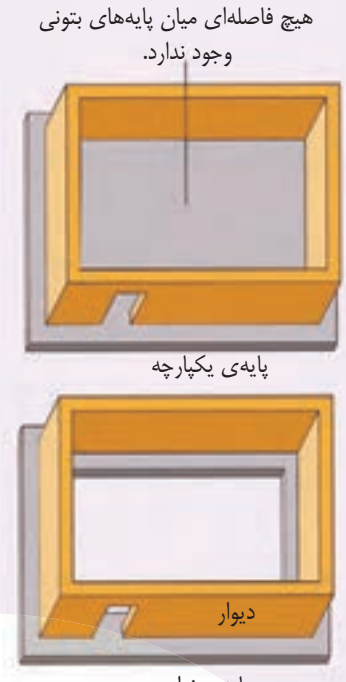
ب) چرا نباید از کفش (پ) برای ورزش ژیمناستیک استفاده کرد؟

۴- برای تحمل وزن یک خانه، دیوارهای آن را روی پایه‌های بتونی قرار می‌دهند. در شکل ۶-۲۷ دو نوع پایه‌ی مختلف که معماران در این مورد به کار می‌برند دیده می‌شود.

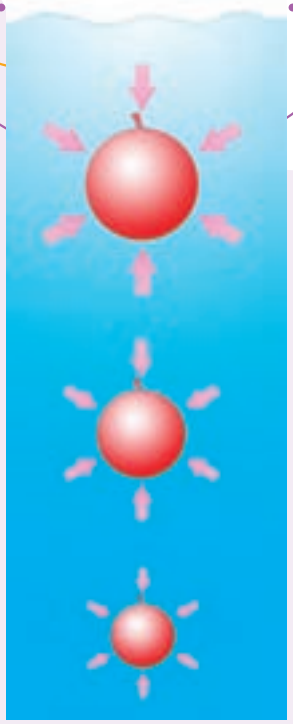
الف) رابطه‌ی میان سطح تماس، نیرو و فشار را بنویسید.

ب) برای سـاختن خانه روی زمین بسیار نرم کدام‌یک از پایه‌های یاد شده مناسب‌تر است؟ علت انتخاب خود را توضیح دهید.

شکل ۶-۲۶



شکل ۶-۲۷



شکل ۶-۲۸

۵- شکل ۶-۲۸ 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 ۶-۲۹). دلیل این موضوع را به کمک مفهوم‌های 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 ۶-۳۰ از یک نردبان بزرگ برای حرکت روی سطح یک دریاچه‌ی یخ‌زده استفاده کرده است.

شکل ۶-۳۰

شکل ۶-۲۹

مسئله‌ها

۱- چگالی یک قطعه‌ی فلزی به جرم ۹۶ گرم و به حجم $12cm^3$ را بر حسب یکاهای g/cm^3 و kg/m^3 به دست آورید.

۲- ستاره‌های کوتوله‌ی سفید بسیار بسیار چگال هستند و چگالی آن‌ها حدود $10^8 kg/m^3$ است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده‌ی کوتوله‌ی سفید داشته باشید، جرم آن چقدر خواهد شد؟ ابعاد یک قوطی کبریت $5/0cm \times 3/5cm \times 1/0cm$ است.

۳- صندوق شکل ۶-۳۱ را روی کدام وجه آن باید روی زمین قرار دهیم تا

الف)کم‌ترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

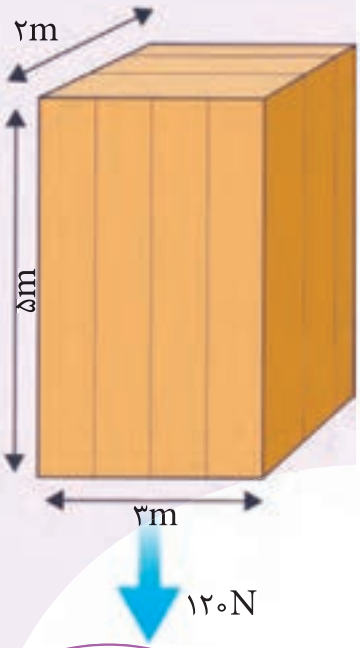
ب) بزرگ‌ترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

۴- در شکل ۶-۳۲ 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؟

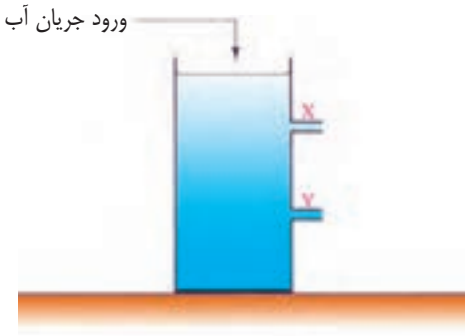
پ) اگر به جای آب مایعی با چگالی کم‌تر به کار ببریم تفاوت‌ها را توضیح دهید.



شکل ۶-۳۱

ت) اگر فاصله‌ی لوله‌ی y از سطح آب درون استوانه ۱۲۰cm باشد، فشار آب هنگام خروج از این لوله چقدر است؟ ($g = ۱۰N/kg$)

ث) اگر سطح دهانه‌ی لوله‌ی y برابر $۱۰^{-۴}m^۲$ باشد و شخصی با قرار دادن انگشت خود بر این دهانه، جلو خروج آب را بگیرد، چه نیرویی بر انگشت او وارد می‌شود؟



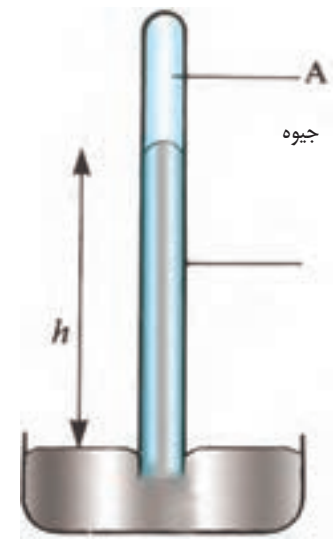
شکل۶-۳۲

۵- شکل ۶-۳۳ یک جوسنج ساده‌ی جیوه‌ای را نشان می‌دهد.

الف) در قسمت A چه چیزی وجود دارد؟

ب) اگر ارتفاع h برابر ۷۰cm باشد، فشار هوا در محل این جوسنج چقدر است؟

($g = ۱۰N/kg$ و $\rho = ۱۳۶۰۰kg/m^۳$ جیوه)



شکل۶-۳۳

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 nاُم آن عدد عبارت اســت از n بار ضرب آن عدد در خودش، و به صورت a^n نوشته می‌شود. n را نما می‌نامند. از این قرار،

$$a^{۱} = a \ , \ a^{۲} = a.a \ , a^{۳} = a.a.a \ , a^{۴} = a.a.a.a , \ldots$$

برای مثال،

$$۳^{۲} = ۳ \times ۳ = ۹ \ , ۳^{۳} = ۳ \times ۳ \times ۳ = ۲۷ , ۳^{۴} = ۳ \times ۳ \times ۳ \times ۳ , \ldots$$

یک نمای منفی دال بر این است که یک را n بار بر عدد تقسیم کنند؛ بنابراین

$$a^{-۱} = \frac{۱}{a} , a^{-۲} = \frac{۱}{a^{۲}} , a^{-۳} = \frac{۱}{a^{۳}} , \ldots$$

نمای صفر، بی‌توجه به مقدار a حاصلش ۱ است،

$$a^{۰} = ۱$$

قواعد ترکیب نماها در حاصل‌ضرب‌ها، 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

$$۳^۲ \times ۳^۳ = ۳^۵$$

$$\frac{۳^۲}{۳^۳} = ۳^{-۱} = \frac{۱}{۳}$$

$$(۳^۲)^۳ = ۳^{۲\times ۳} = ۳^۶$$

توجه کنید که برای هر دو عدد a و b

$$(a.b)^n = a^n.b^n$$

برای مثال،

$$(۲\times ۳)^۳ = ۲^۳ \times ۳^۳$$

ریشه‌ام nام a عددی است که توان nاُم آن مساوی a است. ریشه nاُم عدد a به صورت $a^{۱/n}$ نوشته می‌شود. ریشه دوم عدد a یعنی $a^{۱/۲}$ را معمولاً جذر آن می‌نامند و به صورت $\sqrt{a}$ نمایش می‌دهند.

$$a^{۱/۲} = \sqrt{a}$$

چنانکه نمادگذاری $a^{۱/n}$ هم نشان می‌دهد، ریشه‌ها عبارت‌اند از توان‌های کسری. و از قواعد معمول در ترکیب نماها پیروی می‌کند:

$$(a^{۱/n})^n = a^{n/n} = a$$

$$(a^{۱/n})^m = a^{m/n}$$

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 بپردازیم. برای مثال، در ضرب ۴×۱۰^{۱۰} به ۵×۱۰^{۱۲}، به صورت زیر، ۴ را در ۵ و $۱۰^{۱۰}$ را در $۱۰^{۱۲}$ ضرب می‌کنیم:

$$(۴\times ۱۰^{۱۰})\times(۵\times ۱۰^{۱۲}) = (۴\times ۵)\times(۱۰^{۱۰}\times ۱۰^{۱۲})$$

$$= ۲۰\times ۱۰^{۱۰+۱۲} = ۲۰\times ۱۰^{۲۲} = ۲\times ۱۰^{۲۳}$$

در تقسیم این اعداد نیز به همین شیوه عمل می‌کنیم:

$$\frac{۴\times ۱۰^{۱۰}}{۵\times ۱۰^{۱۲}} = \frac{۴}{۵}\times\frac{۱۰^{۱۰}}{۱۰^{۱۲}} = ۰/۸\times ۱۰^{۱۰-۱۲} = ۰/۸\times ۱۰^{-۲} = ۸\times ۱۰^{-۳}$$

در جمع یا تفریق اعداد در نمادگذاری علمی، باید مراقب باشیم که اعدادمان را با توان‌های یکسان

ده بیان کنیم. برای مثال، مجموع ۳×۱۰^{۸} و $۱/۵\times۱۰^{۹}$ عبارت است از

$$۱/۵\times۱۰^{۹}+۳\times۱۰^{۸}=۱/۵\times۱۰^{۹}+۰/۳\times۱۰^{۹}=۱/۸\times۱۰^{۹}$$

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

$$x+۷=۵$$

را در نظر می‌گیریم. با کسر کردن ۷ از طرفین معادله، داریم

$$x=۵-۷$$

یا

$$x=-۲$$

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

$$۲x + ۱۰ = ۱۶$$

با تفریق ۱۰ از طرفین شروع می‌کنیم و داریم

$$۲x + ۱۰ = ۱۶$$

یا

$$۲x = ۶$$

و سپس طرفین را به ۲ تقسیم می‌کنیم و به دست می‌آوریم

$$x = \frac{۶}{۲}$$

یا

$$x = ۳$$

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

$$x^{۳} = b$$

را ممکن می‌سازد. هر دو طرف را به توان ۱/۳ می‌رسانیم، و داریم

$$(x^{۳})^{۱/۳} = b^{۱/۳}$$

یا

$$x = b^{۱/۳}$$

رابطه‌ی معادله‌ی درجه‌ی دوم

$$ax^{۲}+bx+c=۰ \Rightarrow x=\frac{-b\pm\sqrt{b^{۲}-۴ac}}{۲a}$$

قضیه‌ی فیثاغورس

$$a^{۲}+b^{۲}=c^{۲}$$

محیط، مساحت و حجم

دایره‌ای به شعاع r : محیط $=۲\pi r$؛ مساحت $=\pi r^{۲}$

کره‌ای به شعاع r : مساحت $=۴\pi r^{۲}$؛ حجم $=\frac{۴}{۳}\pi r^{۳}$

مثلثی با قاعده‌ی a و ارتفاع h: مساحت $=\frac{۱}{۲}ah$

پیوست ب

داده‌های فیزیکی

سرعت نور در خلأ، c	$۲/۹۹۷۹\times۱۰^{۸}\,m/s\cong۳\times۱۰^{۸}\,m/s$
یکای نجومی (AU)، فاصله‌ی متوسط زمین خورشید	$۱/۵۰\times۱۰^{۱۱}\,m$
فاصله‌ی متوسط زمین ـ ماه	$۳/۸۴\times۱۰^{۸}\,m$
شعاع زمین (در استوا)	$۶/۳۷\times۱۰^{۶}\,m$
جرم خورشید	$۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\,kg$
جرم زمین	$۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\,kg$
جرم ماه	$۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}\,kg$
بار الکترون، e	$-۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\,C$
بار پروتون، p	$۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\,C$
عدد آو و گادرو، N_A	$۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}\,/\,mol$

پیوست پ

چیزهایی که لازم است بدانید

آهنگ **rate**

تغییر یک کمیت تقسیم بر زمانی که این تغییر صورت می‌گیرد آهنگ آن کمیت نامیده می‌شود.

اتم **atom**

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.

اصطکاک **friction**

نیرویی که در مقابل حرکت اجسام یا مواد در تماس با یکدیگر مقاومت ایجاد می‌کند.

اصطکاک ایستایی **static friction**

نیروی بین دو جسم که به سبب تماسی که مانع از لغزیدن می‌شود نسبت به هم ساکن می‌مانند.

اصطکاک جنبشی **kinetic friction**

نیروی تماسی ناشی از مالش سطح جسم متحرک با سطح ماده‌ای که روی آن می‌لغزد.

اصل **principle**

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.

اصل ارشمیدس **Archimedes' principle**

رابطه‌ی بین نیروی شناوری و مایع جابه‌جا شده: بر جسم غوطه‌ور نیروی شناوری برابر وزن مایع جابه‌جا شده وارد می‌شود.

اصل پاسکال **pascal's principle**

تغییر فشار در هر نقطه از شاره‌ی محصور بدون کم شدن در تمامی جهت‌ها به تمام نقاط شاره منتقل می‌شود.

اصل شناوری **Principle of floatation**

جسم شناور وزن شاره‌ای برابر با وزن خودش را جابه‌جا می‌کند.

انرژی **energy**

آنچه بتواند وضعیت ماده را تغییر دهد. معمولاً به توانایی انجام دادن کار گفته می‌شود.

انرژی پتانسیل گرانشی **gravitational potential energy**

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.

$$U = mgh$$

انرژی جنبشی **kinetic energy**

انرژی حرکت برابر است با نصف جرم ضرب در مربع اندازهٔ سرعت.

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

انرژی مکانیکی **mechanical energy**

انرژی ناشی از مکان یا حرکت چیزی؛ به صورت انرژی پتانسیل یا جنبشی (یا ترکیبی از هردو).

بازوی اهرم **lever arm**

فاصله‌ی عمودی بین محور و خط اثر نیرو که چرخشی دور آن محور به وجود می‌آورد.

برایند **resultant**

نتیجه‌ی خالص ترکیب دو یا چند بردار.

بردار **vector**

پیکانی که طول آن نشـان دهنده‌ی اندازه‌ی یک کمیت اسـت و جهت آن جهت کمیت را نشان می‌دهد.

بر هم کنش **interaction**

کُنش متقابل بین اجسـامی که در آن هر جسم نیرویی مساوی با علامت مخالف به دیگری وارد می‌آورد.

پاسکال **Pascal**

یکای SI برای فشار. یک پاسکال نیروی قائم یک نیوتون بر هر مترمربع وارد می‌کند. یک کیلو پاسکال (kPa) برابر ۱۰۰۰ پاسکال است.

پایستگی انرژی **conservation of energy**

این اصل که انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد. فقط می‌توان آن را از شـکلی به شـکل دیگر تبدیل کرد، اما مقدار کل آن هرگز تغییر نمی‌کند.

پایستگی تکانه **conservation of momentum**

در نبود نیروی خالص خارجی، تکانه‌ی یک جسم یا دستگاهی از اجسام تغییر نمی‌کند.

$$\text{(پس از برخورد) } mv = mv \text{ (پیش از برخورد)}$$

پایسته **conserved**

اصطلاحی که برای کمیت‌های فیزیکی چون تکانه، انرژی، یا بار الکتریکی به کار می‌رود که در طی برهم‌کنش‌ها تغییر نمی‌کند.

تعادل پایدار **stable equilibrium**

وضعیت جسـمی که به گونه‌ای متوازن شـده که هر جابه‌جایی یا دوران مختصر باعث بالا رفتن گرانیگاه آن می‌شود.

تعادل مکانیکی **mechanical equilibrium**

حالت جسـم یا دسـتگاهی از اجسام که نیروهای وارد بر آن صفر شـوند و شتابی به وجود نیاید،

هنگامی که هیچ گشتاور خالصی وجود نداشته باشد.

تعادل ناپایدار **unstable equilibrium**

حالت جسمی که چنان متوازن شده که گرانیگاه آن جابه‌جایی اندک یا چرخش مختصری یافته است.

تکانه (اندازه حرکت) **momentum**

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.

$$P = mv$$

تکیه‌گاه **fulcrum**

نقطه‌ی اتکای اهرم.

توان **power**

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.

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}}$$

ثابت گرانش عمومی **universal gravitational constant**

ثابت تناسب G که معیاری از شدت گرانی در معادلهٔ مربوط به قانون گرانش عمومی نیوتون است:

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

جرم **mass**

مقدار مادهٔ 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.

چگالی **density**

جرم ماده در واحد حجم.

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

حجم **volume**

مقدار فضایی که جسم اشغال می‌کند.

حد کشسانی **elastic limit**

فاصلهٔ کشیدگی یا جمع‌شدگی ماده که فراتر از آن مادهٔ کشسان به حالت اولیه‌اش برنمی‌گردد.

حرکت خطی **linear motion**

حرکت در امتداد خط راست.

حرکت غیرخطی **nonlinear motion**

حرکتی که در امتداد خط راست نباشد.

خلأ **vacuum**

نبود ماده؛ تهی.

روش علمی **scientific method**

روش منظم به دست آوردن، سازمان‌دهی، و به کارگیری معلومات جدید.

ژول **Joule**

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.

سال نوری **light-year**

مسافتی که نور در مدت یک سال در خلأ طی می‌کند: $۹/۴۶ \times ۱۰^{۱۲}\,km$.

سرعت **velocity**

اندازهٔ سرعت جسم و جهت حرکت آن؛ کمیتی برداری است.

سرعت حدی **critical velocity**

اندازهٔ سرعت جسم هنگامی که نیروهای مقاوم، معمولاً مقاومت هوا، با نیروی‌های محرک متوازن شوند به طوری که حرکت بدون شتاب شود.

سقوط آزاد **free fall**

حرکتی که فقط تحت تأثیر گرانی باشد.

شتاب **acceleration**

آهنگ تغییر سرعت جسم بر حسب زمان؛ این تغییر سرعت می‌تواند در اندازه (اندازهٔ سرعت)، یا جهت، یا در هر دو آنها باشد.

شتاب ناشی از گرانی **acceleration due to gravity**

شتاب جسم در سقوط آزاد. مقدار آن نزدیک سطح زمین حدود ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه است.

فرضیه **hypothesis**

حدس قریب به یقین؛ توصیفی منطقی از مشاهده یا نتیجه‌ای تجربی که پیش از بارها آزمودنش

با آزمایش به صورت واقعیت پذیرفته نمی‌شود.

فشار **pressure**

نیروی وارد بر واحد سطح در حالتی که نیرو بر سطح عمود باشد؛ بر حسب پاسکال اندازه‌گیری می‌شود. فشار جو را نیز ببینید.

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

فشار جو **atmospheric pressure**

فشار وارد بر اجسام غوطه‌ور در هوا که ناشی از وزن هوایی است که بالای آن قرار دارد. فشار جو در سطح دریا حدود ۱۰۱kPa است.

فشار سنج **barometer**

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

فناوری **technology**

روش و قابلیت حل مسائل عملی با استفاده از یافته‌های علمی.

قانون **law**

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.

قانون گرانش عمومی **law of universal gravitation**

در دستگاه متشکل از دو ذره، هر ذره ذره‌ی دیگر را با نیرویی جذب می‌کند که با حاصل‌ضرب 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:

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

قانون لختی **law of inertia**

قانون اول از قانون‌های حرکت نیوتون را ببینید.

قانون‌های حرکت نیوتون **Newton's laws of motion**

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**

کشـیدگی 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:

$$F = k.x$$

قضیه‌ی کار ـ انرژی **work–energy theorem**

کار برایند 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 شـکلش با اعمال نیروی تغییر شـکل 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**

یـکای بنیادی جرم در SI برابر ۱۰۰۰ گرم. یک کیلوگرم تقریباً برابر جرم یک لیتر آب در $4^{\circ}C$ است.

کیلومتر **kilometer**

هزار متر.

کیلووات **kilowatt**

هزار وات.

گرانش **gravitation**

جاذبه‌ی بین اجسامِ ناشی از جرم آنها. قانون گرانش عمومی و ثابت گرانش عمومی را نیز ببینید.

گرانیگاه **center of gravit (CG)**

نقطه‌ای در مرکز توزیع وزن جسم که می‌توان فرض کرد نیروی گرانی به آن وارد می‌شود.

گرم **gram**

یکایی برای جرم در دستگاه متریک. هر گرم یک هزارم کیلوگرم است.

گشتاور **torque**

حاصل ضرب نیرو در فاصله‌ی بازوی اهرمی که اثر چرخانندگی تولید می‌کند.

نیرو × فاصله‌ی بازوی اهرم = گشتاور

لختی **inertia**

تنبلی یا مقاومت ظاهری جسم در برابر تغییر وضعیت حرکت. جرم هر جسم معیاری از لختی آن است.

لیتر **(L) liter**

یکای حجم در دستگاه متریک. یک لیتر $۱۰۰۰cm^{۳}$ است.

ماهواره **satellite**

پرتابه یا جسم سماوی دیگری که دور جسم سماوی بزرگ‌تری می‌گردد.

متر **meter**

یکای استاندارد طول در SI

محور **axis**

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 ا ندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی به کار می‌رود.

مقاومت هوا **air-resistance**

اصطکاک یا کشش وارد بر جسمی که در هوا حرکت می‌کند.

نانومتر **nanometer**

یکای طول در دستگاه متریک برابر $۱۰^{-۹}$ متر (یک میلیاردم متر)

نسبت عکس **inversely**

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 شـامل فرض‌های آزموده و تأیید شـده درباره‌ی موضوع‌های مختلف جهان طبیعی باشد.

نیرو **force**

هر عاملی که باعث شـتاب دادن به جسـم شـود؛ هُل دادن یا کشـیدن؛ که بر حسـب 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 سـطح آن عمود اسـت. برای جسـمی واقع بر سـطحی افقی، نیروی بالاسویی است که با وزن جسم متوازن می‌شود.

نیروی کُنش **action force**

یکی از زوج نیروهای توصیف شـده در قانون سوم نیوتون. قانون سوم قانون‌های حرکت نیوتون را نیز ببینید.

نیروی واکنش **reaction force**

نیـروی برابر با نیـروی کُنش و در جهت مخالف آن، و نیرویی که، همزمان، هنگام اِعمال نیروی کنش بر همان جسم اعمال می‌شود. قانون سوم نیوتون را نیز ببینید.

نیوتون **Newton**

یکای نیرو در SI. یک نیوتون نیرویی اسـت 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

اصل ارشمیدس	Archimedes' principle
اندازه‌گیری	measurement
انرژی پتانسیل	potential energy
انرژی جنبشی	kinetic energy
بازده	efficiency
برایند	resultant
بردار	vector
بردار مکان	position vector
پادساعتگرد	anti clock wise
پایستگی انرژی	conservation of energy
ترازو	balance
تعادل	equilibrium
تعادل پایدار	stable equilibrium
تعادل ناپایدار	unstable equilibrium
توان	power
ثابت فنر	constant of spring
جابه‌جایی	displacement
جرم	mass
جفت نیرو	couple
جهت	direction
چگالی	density
حرکت	motion
حرکت تند شونده	accelerating motion
حرکت شناسی	kinematics
حرکت کند شونده	decelerating motion
حرکت یکنواخت	uniform motion
خلأ	vacuum
دستگاه بین‌المللی یکاها	International System of Units
دینامیک	dynamics

clockwise	ساعتگرد
initial velocity	سرعت اولیه
instantaneous velocity	سرعت لحظه‌ای
average velocity	سرعت متوسط
free falling	سقوط آزاد
acceleration	شتاب
instantaneous acceleration	شتاب لحظه‌ای
average acceleration	شتاب متوسط
slope	شیب خط
pressure	فشار
barometer	فشارسنج
Bourdon gauge	فشارسنج بوردون
spring	فنر
flotation law	قانون شناوری
Hook's laws	قانون هوک
Newton's laws	قانون‌های نیوتون
work-energy theorem	قضیه‌ی کار –انرژی
work	کار
quantity	کمیت
gravitation	گرانش
center of gravity	گرانیگاه(مرکز گرانش)
torque	گشتاور
inertia	لختی
satellite	ماهواره
horizontal axis	محور افقی
vertical axis	محور قائم
Path	مسیر
scalar	نرده‌ای
turning point	نقطه‌ی چرخش
scientific notation	نمادگذاری علمی
force	نیرو

dynamometer	نیروسنج
buoyancy	نیروی بالابر
turning force	نیروی چرخاننده
elastic force	نیروی کشسانی
weight	وزن
unit	یکا
base units	یکاهای اصلی
derived units	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 ناصرمقبلی، 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.