جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
سازمان تحقیقات و برنامه‌ریزی

فیزیک

۲

فنی و حرفه‌ای (کلیه‌ی رشته‌ها)

نظام جدید آموزش متوسطه

۳۵۹/۵۴ و ۴۹۷/۸

بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک (۲)

کلیه‌ی رشته‌ها

زمینه‌ی صنعت

شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای

نظام جدید آموزش متوسطه

شماره‌ی درس ۱۵۱۴

۵۳۰ لطفی، اصغر
ف ۴۸۳ ل فیزیک (۲) / مؤلف: اصغر لطفی. ــ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران،
۱۳۸۴ ۱۳۸۴.
۷۲ص.: مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای: شماره‌ی درس ۱۵۱۴)
متون درسی کلیه‌ی رشته‌ها، زمینه‌ی صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی.
۱. فیزیک. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۱۵/۲۸۷۴ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پست الکترونیکی info@tvoccd.sch.ir

آدرس الکترونیکی www.tvoccd.sch.ir

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب: فیزیک (۲) ـ ۳۵۹/۵۴ و ۲۹۷/۸

مؤلف: اصغر لطفی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: مریم دهقان‌زاده

صفحه‌آرا: مریم نصرتی

طراح جلد: علیرضا رضائی‌کار

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

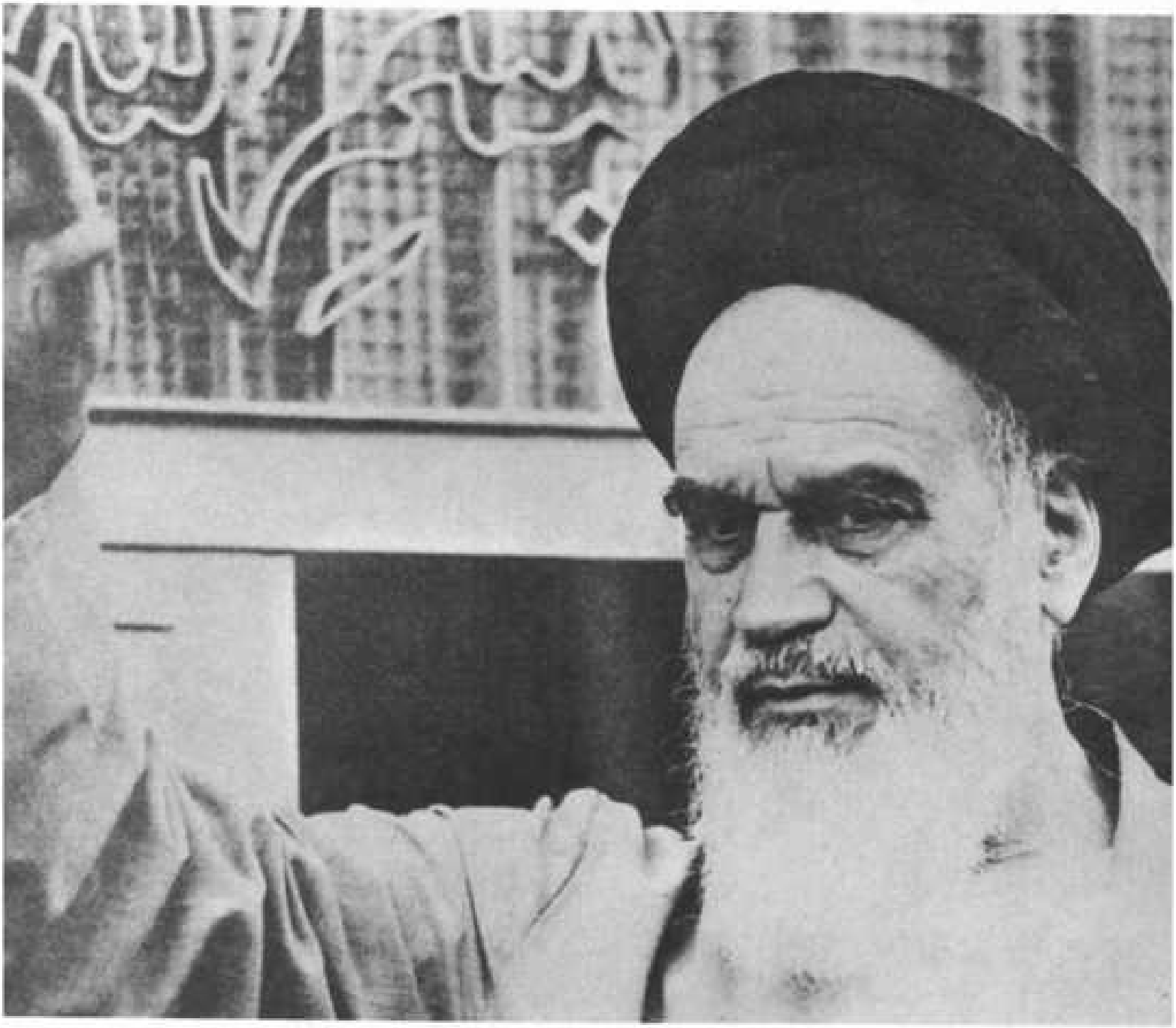
تلفن: ۴ ـ ۶۰۲۶۲۴۱، دورنگار: ۶۰۲۶۲۴۰، صندوق پستی: ۱۳۲۹۵/۱۸۴

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۴-۰۷۷۸-۰۵-۰۰-۹۶۴ ISBN 964-05-0778-4



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام‌خمینی «قدس سرّه‌الشریف»

فهرست مطالب

فصل ۱ــ اندازه‌گیری کمیت‌های عددی و برداری ۱
۱ــ۱ یکاهای اندازه‌گیری ۱
۱ــ۲ طول ۱
۱ــ۳ شکل استاندارد اعداد ۱
۱ــ۴ جرم ۲
۱ــ۵ زمان ۲
۱ــ۶ حجم ۳
۱ــ۷ حجم مایعات ۳
پرسش‌ها ۴
۱ــ۸ کمیّت ۴
۱ــ۹ کمیّت‌های عددی ۴
۱ــ۱۰ کمیت‌های برداری ۵
۱ــ۱۱ جمع یا برآیند کمیت‌های برداری ۵
۱ــ۱۲ روش متوازی‌الاضلاع و کمیت‌های برداری ۶
۱ــ۱۳ نمایش کمیت‌های عددی و برداری ۷
۱ــ۱۴ تفریق دو بردار ۷
۱ــ۱۵ مؤلفه‌های عمود برهم یک‌بردار (تجزیه بردار) ۸
پرسش‌ها ۸

فصل ۲ــ حرکت ۱۰
۲ــ۱ حرکت نسبی است ۱۰
۲ــ۲ سرعت ۱۰
۲ــ۳ جابه‌جایی ۱۰
۲ــ۴ سرعت متوسط ۱۰
۲ــ۵ سرعت ثابت ۱۱
۲ــ۶ حرکت شتاب‌دار ۱۲
۲ــ۷ شتاب متوسط ۱۲
۲ــ۸ حرکت با شتاب ثابت ۱۲
۲ــ۹ معادله‌های حرکت بر روی خط راست ۱۳
۲ــ۱۰ شتاب سقوط آزاد ۱۴
۲ــ۱۱ حرکت به سوی بالا و پایین ۱۴
۲ــ۱۲ بزرگی g و معادله‌های سقوط آزاد ۱۵
پرسش‌ها ۱۶

۱۳ـ۲ اینرسی و جرم ۱۶
۱۴ـ۲ رابطه‌ی بین نیرو، جرم و شتاب ۱۷
پرسش‌ها ۱۷
۱۵ـ۲ نیروی گرانش ۱۸
۱۶ـ۲ وزن ۱۸
۱۷ـ۲ میدان گرانش ۱۹
۱۸ـ۲ تغییرات وزن ۱۹
۱۹ـ۲ وزن در کره‌ی ماه و در فضا ۱۹
۲۰ـ۲ وزن و جرم ۱۹
پرسش‌ها ۱۹

فصل ۳ـ نیرو، حرکت ۲۱
۱ـ۳ قانون اوّل نیوتون ۲۱
۲ـ۳ اصطکاک ۲۱
۳ـ۳ اصطکاک ایستایی و لغزشی ۲۱
۴ـ۳ اصطکاک شاره‌ها ۲۲
۵ـ۳ نیروهای متعادل ۲۲
۶ـ۳ سرعت حد ۲۳
۷ـ۳ نیروهای نامتعادل ۲۳
پرسش‌ها ۲۴
۸ـ۳ حرکت دایره‌ای ۲۴
۹ـ۳ نیروی مرکزگرا ۲۴
۱۰ـ۳ تولید نیروی مرکزگرا ۲۵
۱۱ـ۳ حرکت ماهواره‌ها ۲۵
پرسش‌ها ۲۶
۱۲ـ۳ اندازه‌ی حرکت ۲۶
۱۳ـ۳ نیرو و اندازه‌ی حرکت ۲۶
۱۴ـ۳ قانون دوّم نیوتون ۲۷
پرسش‌ها ۲۷
۱۵ـ۳ کنش و واکنش و قانون سوّم نیوتون ۲۸
پرسش‌ها ۲۹
۱۶ـ۳ پایستاری اندازه‌ی حرکت ۲۹
۱۷ـ۳ برخوردها ۳۰
پرسش‌ها ۳۱

۳۲ ۳ـ۱۸ موشک‌ها و جت‌ها
۳۲ ۳ـ۱۹ موتور موشک
۳۲ ۳ـ۲۰ موتور جت
۳۳ ۳ـ۲۱ نیروی پیش‌ران
۳۳ پرسش‌ها

۳۴ **فصل ۴ـ گشتاور نیرو، تعادل اجسام**
۳۴ ۴ـ۱ گشتاور نیرو
۳۵ ۴ـ۲ اصل گشتاورها
۳۶ ۴ـ۳ شرایط تعادل
۳۷ ۴ـ۴ زوج نیرو
۳۸ پرسش‌ها
۳۹ ۴ـ۵ مرکز گرانش
۴۰ ۴ـ۶ میله در حال تعادل
۴۱ ۴ـ۷ پایداری
۴۲ ۴ـ۸ انواع تعادل
۴۲ پرسش‌ها
۴۳ ۴ـ۹ نیروهای کشسی
۴۳ ۴ـ۱۰ آزمایش با فنر
۴۵ ۴ـ۱۱ تناسب ساده
۴۵ ۴ـ۱۲ حدّ کشسانی
۴۵ ۴ـ۱۳ قانون هوک
۴۵ پرسش‌ها

۴۶ **فصل ۵ـ کار و انرژی**
۴۶ ۵ـ۱ کار
۴۶ ۵ـ۲ انرژی
۴۷ ۵ـ۳ انرژی پتانسیل
۴۷ ۵ـ۴ انرژی جنبشی
۴۷ ۵ـ۵ انرژی گرمایی
۴۸ ۵ـ۶ انواع دیگر انرژی
۴۸ ۵ـ۷ تبدیل انرژی از نوعی به نوع دیگر
۴۸ ۵ـ۸ برابری کار و انرژی
۴۸ ۵ـ۹ انرژی باد و امواج

۵ـ۱۰ انرژی گرمایی زمین ۴۹
۵ـ۱۱ انرژی هسته‌ای ۴۹
پرسش‌ها ۴۹
۵ـ۱۲ محاسبه‌ی انرژی پتانسیل گرانشی ۵۰
۵ـ۱۳ محاسبه‌ی انرژی جنبشی ۵۱
۵ـ۱۴ تبدیل انرژی ۵۱
پرسش‌ها ۵۳

فصل ۶ـ چگالی، فشار ۵۴
۶ـ۱ چگالی ۵۴
۶ـ۲ چگالی نسبی ۵۵
۶ـ۳ تُنگ چگالی ۵۵
پرسش‌ها ۵۶
۶ـ۴ فشار ۵۷
۶ـ۵ فشار مایعات ۵۸
۶ـ۶ ماشین‌های هیدرولیکی ۶۰
پرسش‌ها ۶۱
۶ـ۷ فشارجوّ ۶۲
۶ـ۸ جوسنج جیوه‌ای ۶۲
۶ـ۹ فشار جوّ استاندارد ۶۳
۶ـ۱۰ استفاده از فشار جوّ ۶۳
۶ـ۱۱ نرمزهای خلأ ۶۵
۶ـ۱۲ مقایسه‌ی چگالی مایعات ۶۵
پرسش‌ها ۶۵
۶ـ۱۳ اصل ارشمیدس و شناوری ۶۶
۶ـ۱۴ تعیین چگالی نسبی یک جامد ۶۷
۶ـ۱۵ تعیین چگالی نسبی یک مایع ۶۸
۶ـ۱۶ قانون شناوری ۶۸
۶ـ۱۷ سطح شناوری ۶۸
۶ـ۱۸ چگالی‌سنج‌ها ۶۹
۶ـ۱۹ شناوری و غوطه‌وری ۷۰
۶ـ۲۰ شناوری در هوا ۷۱
پرسش‌ها ۷۱

مراجع ۷۲

پیش‌گفتار

برای پی‌بردن به اهمیت فیزیک و مبحث‌هایی از آن، نظیر علم مکانیک، کافی است یک لحظه تصور کنیم که اگر خون در رگ‌های انسان حرکت نکند، وسایل نقلیه بایستند، و مولدهای الکتریکی نیروگاه‌ها از حرکت باز بمانند. چه می‌شود؟

واژه‌ی فیزیک از کلمه‌ی یونانی Fusics به‌معنی طبیعت گرفته شده است، بنابراین فیزیک باید علمی باشد که مطالعه‌ی تمام پدیده‌های طبیعی را دربرگیرد.

هدف بخش مهمی از فیزیک، توانایی بخشیدن به ما برای فهم اجزای بنیادی ماده و برهم‌کنش‌های متقابل آن‌هاست؛ تا بدین طریق پدیده‌های طبیعت از جمله ویژگی‌های ماده‌ی کپه‌ای را بیان کنیم. با این تعریف و با این هدف معلوم می‌شود که فیزیک اساسی‌ترین علم طبیعت است.

فرزندم! خوب می‌دانی که با یک بار خواندن یک نامه‌ی دوستانه و روزمره، قطعاً همه‌منظور نویسنده‌ی نامه حاصل نمی‌شود، به‌همین دلیل انتظار دارم، که فیزیک و مطالب فیزیک را آسان‌تر از یک نامه‌ی دوستانه تصور نکنی و برای درک مفاهیم آن، مطالب را چندبار بخوانی، یقین بدان که با این کار تمام مفاهیم را در حد مورد نیاز یاد خواهی گرفت. ان‌شاء الله.

من الله‌توفیق و علیه‌التکلان

مؤلف

فصل ۱

اندازه‌گیری کمیت‌های عددی و برداری

۱ــ۱ یکاهای اندازه‌گیری

فاصله‌ی دو نقطه را می‌توان برحسب متر، اینچ، فوت و یارد بیان کرد. یکاهای دیگری نیز برای اندازه‌گیری به‌کار می‌رود، امّا اگر همه از یک یکا استفاده کنیم زندگی راحت‌تری خواهیم داشت. کمیّت‌های فیزیکی را با استفاده از دستگاه بین‌المللی یکاها که به اختصار *SI* نامیده می‌شود اندازه‌گیری می‌کنند. در دستگاه SI برای اندازه‌گیری طول، جرم و زمان، به‌ترتیب از سه یکای اصلی با نام‌های متر، کیلوگرم و ثانیه استفاده می‌شود. کمیت‌های فرعی، مانند سطح، حجم، سرعت، نیرو، انرژی و ... نیز برحسب این سه یکای اصلی بیان می‌شوند.

یکاهای اندازه‌گیری را معمولاً **واحدهای** اندازه‌گیری نیز می‌گویند.

۲ــ۱ طول

یکای طول در دستگاه بین‌المللی، متر است و با نماد m نشان داده می‌شود. گستره‌ی طول‌هایی که در طبیعت وجود دارد بسیار وسیع است. به‌عنوان مثال قطر خورشید بیش از یک میلیون‌متر است، در حالی که قطر اتم‌ها از یک هزار میلیونیم متر هم کوچک‌تر است. برای بیان طول و فاصله‌ها در این گستره‌ی وسیع از یکاهای متفاوت بر مبنای متر استفاده می‌شود. این یکاها را در شکل ۱ــ۱ معرفی می‌کنیم. در گذشته یک متر به‌صورت «فاصله‌ی بین دو علامت در روی میله‌ای فلزی» تعریف شده بود این میله هنوز هم در اداره‌ی اوزان و مقیاس‌ها در پاریس نگه‌داری می‌شود. البته در سال‌های اخیر تعریف‌های جدیدتر و دقیق‌تری برای متر ارائه شده است.

۳ــ۱ شکل استاندارد اعداد

در شکل ۱ــ۱ برخی از اعداد به‌صورت توان‌هایی از ۱۰ نوشته شده است. مثلاً $۱۰\times۱۰\times۱۰\times۱۰=۱۰۰۰$ به‌صورت $۱۰^{۳}$ نوشته شده است. یا $\frac{۱}{۱۰^{۳}}=\frac{۱}{۱۰۰۰}$ را به‌صورت $۱۰^{-۳}$ نوشته‌ایم. به‌طور کلی، اگر عددی به‌صورت توانی از ۱۰ نوشته شود، گفته می‌شود که این عدد به شکل استاندارد نوشته شده است. بنابراین شکل

فاصله	مقایسه با یکای استاندارد	شکل استاندارد	اندازه‌ی تقریبی
۱ کیلومتر (km)	۱۰۰۰m	$۱۰^{۳}$	طول ۱۰ زمین فوتبال
۱ متر (m)			
۱ سانتی‌متر (cm)	$\frac{۱}{۱۰۰}$m	$۱۰^{-۲}$m	
۱ میلی‌متر (mm)	$\frac{۱}{۱۰۰۰}$m	$۱۰^{-۳}$m	
۱ میکرومتر (μm)	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$m	$۱۰^{-۶}$m	
۱ نانومتر (nm)	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰}$	$۱۰^{-۹}$m	

شکل ۱ــ ۱ــ یکاهای طول و اندازه‌ی تقریبی آن‌ها

استاندارد ۲۵۱۴mm به‌صورت $۲/۵۱۴\times۱۰^{۳}\,mm$ و شکل استاندارد $\frac{۴}{۱۰۰۰}\,mm = ۰/۰۰۴mm$ به‌صورت $۴\times۱۰^{-۳}\,mm$ است. از شکل استاندارد برای نوشتن اعداد بسیار بزرگ یا بسیار کوچک استفاده می‌شود. توجه کنید که هیچ اندازه‌گیری‌ای دقیق نیست. اگر بزرگی طولی به‌صورت $۱/۵۰۰\times۱۰^{۳}\,mm$ بیان شود، این عدد نشان می‌دهد که طول اندازه‌گیری شده به ۱۵۰۰mm نزدیکتر است تا به ۱۴۹۹mm یا ۱۵۰۱mm. از طرف دیگر اگر بزرگی طول اندازه‌گیری شده به صورت $۱/۵\times۱۰^{۳}\,mm$ نوشته شود، این عدد نشان می‌دهد که این طول به ۱۵۰۰mm نزدیکتر است تا به ۱۴۰۰mm یا ۱۶۰۰mm.

پرسش‌ها

۱ــ طول و عرض کلاس درس خود را تعیین کنید.

۲ــ ضخامت یک برگ از کتاب خود را معلوم کنید.

۱ــ۴ جرم

یکای جرم در دستگاه بین‌المللی یکاها کیلوگرم است و با نماد kg نشان داده می‌شود. کیلوگرم استاندارد جرم قطعه‌ای از آلیاژ پلاتین است که در اداره‌ی اوزان و مقیاس‌های پاریس نگه‌داری می‌شود.

یکاهای دیگر جرم را که بر مبنای کیلوگرم بیان می‌شوند در شکل ۲ــ۱ معرفی کرده‌ایم. جرم یکی از ویژگی‌های همه‌ی اجسام است، جرم به‌دو صورت در رفتار اجسام اثر می‌کند، اوّل آن که وقتی می‌خواهیم جسمی را به حرکت درآوریم یا از حرکت بازداریم و یا جهت حرکت آن را تغییر دهیم، در مقابل این تغییرها مقاومت می‌کند. هرچه جرم جسم بیش‌تر باشد مقاومت آن در مقابل این تغییرها بیش‌تر است. دوّم آن که همه‌ی اجسام به طرف زمین کشیده می‌شوند، هرچه جرم جسم بیش‌تر باشد، با نیروی بزرگ‌تری به طرف زمین کشیده می‌شود. معمولاً برای اندازه‌گیری جرم جسم از ترازو (دو کفه‌ای یا یک کفه‌ای) استفاده می‌شود.

پرسش‌ها

۱ــ جرم یک عدد تخم‌مرغ چقدر است؟

۲ــ جرم کتاب فیزیک ــ ۲ را تعیین کنید.

۱ــ۵ زمان

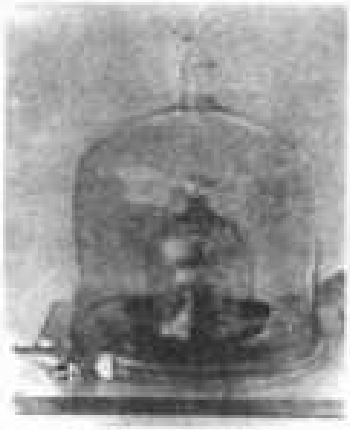
یکای زمان در دستگاه بین‌المللی یکاها، ثانیه است و با نماد s نشان داده می‌شود. یکاهای کوچک‌تر زمان که برمبنای ثانیه تعریف می‌شوند، میلی‌ثانیه، میکروثانیه و نانوثانیه است.

$$۱\ \text{میلی‌ثانیه(ms)} = \frac{۱}{۱۰۰۰}s = ۱۰^{-۳}s$$

جرم	مقایسه با یکای SI	شکل استاندارد	اندازه‌ی تقریبی
۱ تن (t)	۱۰۰۰kg	$۱۰^{۳}kg$	
۱ کیلوگرم (kg)	۱kg		
۱ گرم (g)	$\frac{۱}{۱۰۰۰}kg$	$۱۰^{-۳}kg$	
۱ میلی‌گرم (mg)	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}kg$	$۱۰^{-۶}kg$	

شکل ۲ــ۱ــ یکاهای جرم و اندازه‌ی تقریبی آن‌ها

یک پیام رادیویی فاصله‌ی $\frac{1}{3}$ متر را تقریباً در یک نانوثانیه طی می‌کند.



شکل ۳ـ۱ـ کیلوگرم استاندارد، قطعه فلزی است که در شرایط ویژه نگه‌داری می‌شود.

$$1\ \text{میکروثانیه}\ (\mu s) = \frac{1}{1000000}\ s = 10^{-6}\ s$$

$$1\ \text{نانوثانیه}\ (ns) = \frac{1}{1000000000}\ s = 10^{-9}\ s$$

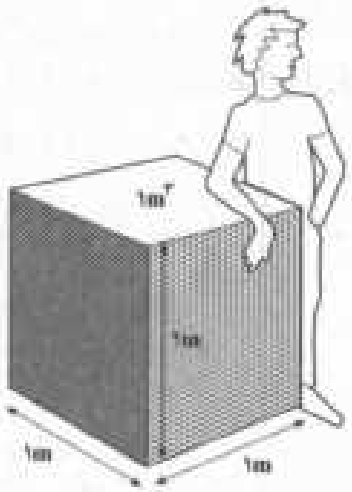
۶ـ۱ حجم

فضایی که یک جسم اشغال می‌کند، حجم آن جسم نام دارد. در دستگاه بین‌المللی حجم را برحسب مترمکعب اندازه می‌گیرند و با نماد m^3 نشان می‌دهند. یک متر مکعب حجم مکعبی به ضلع یک متر است.

چون مترمکعب یکای نسبتاً بزرگی است، لذا حجم‌ها را غالباً برحسب سانتی‌متر مکعب با نماد cm^3 اندازه می‌گیرند. یک سانتی‌متر مکعب حجم مکعبی به ضلع یک سانتی‌متر است.

$$1\ cm^3 = \frac{1}{1000000}\ m^3 = 10^{-6}\ m^3$$

شکل ۴ـ۱ـ یک کشتی نفتکش که حجم آن تقریباً $200000\ m^3$ است.



مکعبی که هر ضلع آن یک متر است.

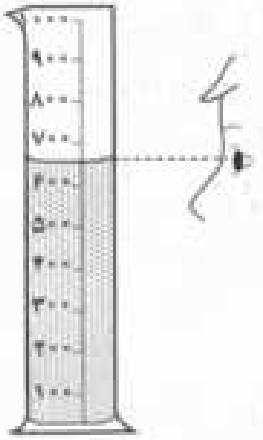
اگر جسم شکل هندسی مشخص و ساده داشته باشد محاسبه‌ی حجم آن آسان است، مثلاً:

ارتفاع × عرض × طول = حجم مکعب مستطیل

ارتفاع × (شعاع)^2 × π = حجم استوانه

۷ـ۱ حجم مایعات

حجم مایعات را غالباً برحسب لیتر اندازه می‌گیرند. برای اندازه‌گیری حجم‌هایی در حدود یک لیتر می‌توان از استوانه‌ی مدرّج استفاده کرد. اگر مایع را در استوانه‌ای مدرج بریزیم درجه‌ای از استوانه، که در مقابل سطح مایع قرار دارد، حجم مایع را مشخص می‌کند. درجه‌های برخی از استوانه‌های مدرج برحسب میلی‌لیتر با نماد ml است، یک میلی‌لیتر همان یک سانتی‌مترمکعب است.



شکل ۵ــ۱ــ هنگام اندازه‌گیری حجم مایع به‌وسیله‌ی استوانه‌ی مدرج باید قسمت پایین و وسط هلال را در نظر بگیرید.

پرسش‌ها

۱ــ یکاهای اصلی طول، جرم، زمان در دستگاه SI چیست؟

۲ــ نمادهای زیر چه کمیت‌هایی را نشان می‌دهند؟

m^3 ، ml ، ms ، t ، mg ، ns ، µm

۳ــ یک متر چند میلی‌متر است؟

یک کیلوگرم چند میلی‌گرم است؟

یک ثانیه چند میکروثانیه است؟

یک میلی‌متر چند میکرومتر است؟

۴ــ در یک اندازه‌گیری، جرم جسمی ۶/۲kg، و در اندازه‌گیری دیگری ۶/۲۰kg اعلام شده است. این دو مقدار چه تفاوتی دارند؟

۵ــ مقادیر زیر را به‌صورت عدد استاندارد بنویسید.

۰/۰۰۰۲۵m ، ۰/۳۷kg ، ۰/۰۱s ، ۱۰۰۰۰۰۰m ، ۱۰۰kg

۶ــ مقادیر زیر را برحسب میلی‌متر بنویسید.

۳۳۰µm ، $۵/۶\times۱۰^{۳}$nm ، ۲۲/۴km ، ۲/۷m

۷ــ جرم یک کتاب ۵۰۰ صفحه‌ای ۲/۵ کیلوگرم است. جرم هر برگ آن برحسب کیلوگرم و میلی‌گرم چقدر است؟

۸ــ حجم یک مایع $۰/۲m^3$ است، حجم آن برحسب لیتر، سانتی‌مترمکعب و میلی‌لیتر چقدر است؟

۸ــ۱ کمیّت

هر چیزی را که بتوانیم اندازه بگیریم، به‌عبارت دیگر هر چیزی که مقداری دارد و این مقدار می‌تواند کم یا زیاد شود، کمیّت نام دارد.

طول، سطح، حجم، جابه‌جایی، سرعت، نیرو، انرژی و... کمیت هستند. کمیت‌هایی که در زندگی ما نقش دارند و ما روزانه با آن‌ها سر و کار داریم دو نوع است، کمیّت‌های عددی (نرده‌ای) و کمیت‌های بُرداری.

۹ــ۱ کمیّت‌های عددی

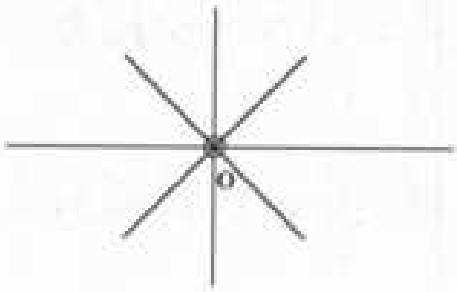
فرض کنید شخصی از فرزندش می‌خواهد که ۳ کیلو شکر بخرد این شخص با گفتن عدد سه و یکای کیلو و نام جسم یعنی

شکر، منظور خود را بیان کرده و مخاطب او یعنی فرزندش منظور وی را درک کرده است.

به کمیت‌هایی که برای معرفی آن‌ها بیان مقدار (عدد و یکا) کافی است کمیت‌های عددی یا اسکالر می‌گویند. این کمیت‌ها را به این دلیل کمیت عددی می‌گویند که جمع آن‌ها از قانون جمع اعداد به‌دست می‌آید. جمع ۳ کیلو شکر با ۴ کیلو شکر، ۷ کیلو شکر است.

۱۰ــ۱ کمیت‌های برداری

فرض کنید شما از شخصی که در نقطه‌ی O ایستاده است می‌خواهید که ۳ متر جابه‌جا شود، با دانستن این اطلاعات، شخص نمی‌داند، در کدام راستا و کدام سو جابه‌جا شود. اگر شخص جابه‌جایی دلخواه انجام دهد، ممکن است جابه‌جایی انجام شده همان جابه‌جایی که شما می‌خواستید نباشد. فرض کنید منظور شما این بوده است که شخصی از نقطه‌ی O در راستای غرب به‌شرق، و به سوی شرق برود، درصورتی که او در جهت هزاران مسیر دیگر می‌تواند 3m جابه‌جا شود. خلاصه، برای آن که شخص منظور شما را درک کند بایستی علاوه‌بر بزرگی جابه‌جایی



شکل ۶ــ۱

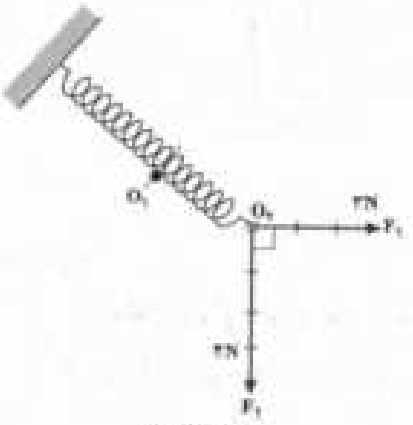
(عدد و یکا) جهت (راستا و سوی) جابه‌جایی را هم برای او مشخص کنید. تا مفهومی که در ذهن دارید درست به او منتقل شود.

حال به مثال دیگری توجه کنید، فرض کنید از شما بخواهند میزی را با نیروی ۴ نیوتون بکشید. شما میز را با نیروی ۴ نیوتونی به کدام جهت خواهید کشید؟

می‌بینید که برای معرفی نیرو نیز فقط بیان بزرگی نیرو کافی نیست. بنابراین هنگام معرفی برخی از کمیت‌ها مجبوریم علاوه‌بر بزرگی جهت (راستا و سوی) آن را نیز مشخص کنیم.

۱۱ــ۱ جمع یا برآیند کمیت‌های برداری

تا این‌جا متوجه شدید که برای معرفی برخی از کمیت‌ها فقط بیان بزرگی آن کمیت کافی نیست حالا باید درباره‌ی جمع این نوع کمیت‌ها صحبت کنیم. قبل از بیان جمع این نوع کمیت‌ها خوب است ابتدا به مفهوم عمل جمع بپردازیم.

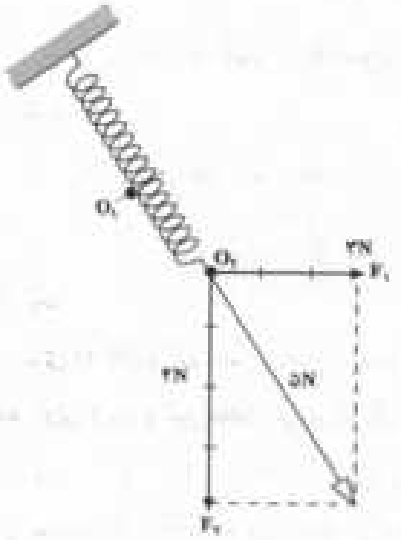


شکل ۷ــ۱

وقتی می‌گویند جمع ۳ کیلو شکر با ۴ کیلو شکر چند کیلو شکر می‌شود؟ هدف این است که ما یک بسته شکری را در نظر بگیریم که به تنهایی همان کاری را انجام می‌دهد که ۳ کیلو شکر با ۴ کیلو شکر روی هم انجام می‌دهند.

فرض کنید دو نیروی ۳ و ۴ نیوتونی مطابق شکل فنری را می‌کشند و فنر را از نقطه‌ی O_1 به نقطه‌ی O_2 می‌رسانند. حالا اگر از ما بخواهند که جمع این دو نیرو را به‌دست آوریم به صورت زیر عمل می‌کنیم:

جمع این دو نیرو نیرویی است که اگر به‌تنهایی در نقطه‌ی

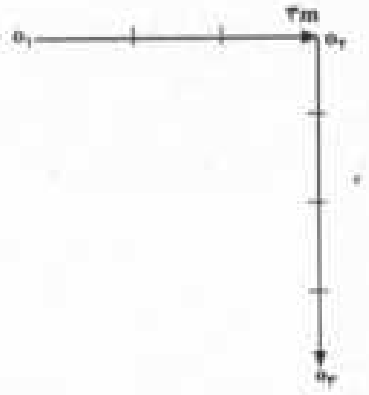


شکل ۸ــ۱

O_1 بر فنر وارد شود، این فنر را از نقطه‌ی O_1 به O_2 می‌رساند. تجربه نشان می‌دهد نیرویی که این کار را انجام دهد مطابق شکل ۷ــ۱ نیرویی است که بزرگی آن ۵ نیوتون است. و بر روی قطر مستطیلی قرار دارد که با دو نیروی ۳ و ۴ نیوتونی ساخته می‌شود.

در این‌جا است که متوجه می‌شویم که همیشه جمع ۳ و ۴ هفت نمی‌شود. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت در طبیعت کمیت‌هایی مانند نیرو وجود دارند که جمع آن‌ها از جمع عددی پیروی نمی‌کند.

فرض کنید شخصی در نقطه‌ی O_1 قرار دارد، اگر از این شخص بخواهیم که در راستای غرب به شرق به سوی شرق، ۳ متر جابه‌جا شود، او از O_1 به O_2 می‌رسد. باز هم اگر از او بخواهیم که در راستای شمال به‌جنوب و به سوی جنوب ۴ متر جابه‌جا شود او به‌نقطه‌ی O_3 می‌رسد.

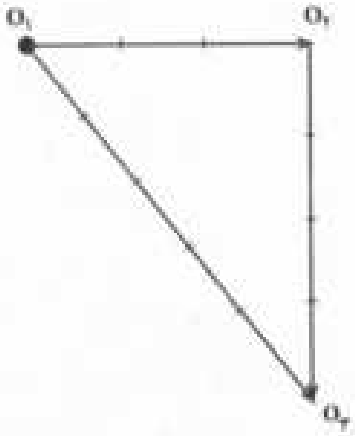


شکل ۹ــ۱

حالا اگر از ما بخواهند جمع این دو جابه‌جایی را به‌دست آوریم، باید یک جابه‌جایی معرفی کنیم که تنها در اثر آن جابه‌جایی، مستقیماً از O_1 به O_3 برسیم.

توجه کنید که جمع دو جابه‌جایی بر روی قطر مستطیلی قرار دارد که با دو جابه‌جایی ساخته شده است. ضمناً بزرگی این جابه‌جایی 5m است. می‌بینیم که در این‌جا هم حاصل دو جابه‌جایی از حاصل جمع عددی آن‌ها به‌دست نمی‌آید.

در این‌جا این پرسش مطرح می‌شود که جمع یا برآیند دو نیرو یا دو جابه‌جایی در حالت کلی چگونه به دست می‌آید؟



شکل ۱۰ــ۱

۱۲ــ۱ روش متوازی‌الاضلاع و کمیت‌های برداری

برای پیدا کردن جمع دو نیرو همچنین برای به‌دست آوردن جمع دو جابه‌جایی و کمیت‌های نظیر آن از روش متوازی‌الاضلاع استفاده می‌شود. فرض کنید می‌خواهیم جمع دو نیرویی را که با هم زاویه‌ی α می‌سازند تعیین کنیم، برای استفاده از روش متوازی‌الاضلاع به‌صورت زیر عمل می‌کنند:

۱ــ از نقطه‌ی دلخواه O دو خط موازی با دو نیرو رسم می‌کنند.

طول این خط‌ها را متناسب با بزرگی نیروها انتخاب و در انتهای آن علامت پیکان می‌گذارند.

۲ــ با استفاده از دو خط رسم شده و به کمک دو خط نقطه‌چین یک متوازی‌الاضلاع رسم می‌کنند.

شکل ۱۱ــ۱

شکل ۱۲ــ۱

۳ـ از نقطه‌ی O قطر متوازی‌الاضلاع را رسم می‌کنند. در انتهای قطر علامت پیکان می‌گذارند.

جهت این قطر، جهت جمع دو نیرو (برآیند) را نشان می‌دهد.

بزرگی این قطر با بزرگی جمع دو نیرو برابر است. این روش جمع را جمع برداری می‌نامند.

کمیت‌هایی که هم بزرگی (عدد و یکا) و هم جهت (راستا و سو) دارند و جمع آن‌ها از جمع برداری به‌دست می‌آید کمیت‌های برداری نام دارند، نیرو، جابه‌جایی، میدان گرانش، میدان الکتریکی، سرعت، شتاب و... کمیت‌های برداری‌اند.

بنابراین، ***کمیت‌های برداری کمیت‌هایی هستند که هم بزرگی و هم جهت دارند و جمع آن‌ها از جمع ویژه‌ای که جمع برداری نام دارد به‌دست می‌آید.***

نگاهی دیگر به روش متوازی‌الاضلاع: فرض کنید مطابق شکل دو نیرو بر جسمی اثر می‌کنند و ما می‌خواهیم برآیند این دو نیرو را به‌دست آوریم. در حالت کلی برای تعیین برآیند آن‌ها به‌روش زیر عمل می‌کنیم:

شکل ۱۳ـ۱

۱ـ از یک نقطه‌ی دلخواه، مانند O، خطی موازی و مساوی یکی از دو نیرو رسم می‌کنیم. در انتهای این خط علامت پیکان می‌گذاریم (OO_1).

۲ـ از انتهای خط رسم شده خطی موازی و مساوی نیروی دوم رسم می‌کنیم، در انتهای این خط نیز علامت پیکان می‌گذاریم (O_1O_2).

شکل ۱۴ـ۱

۳ـ ابتدای اولین خط را به انتهای آخرین خط وصل می‌کنیم (OO_2) و در انتهای آن علامت پیکان می‌گذاریم.

به این ترتیب برآیند دو نیروی F_1 و F_2 به‌دست می‌آید. توجه کنید حاصل این روش با حاصل روش قبل کاملاً (از نظر جهت و بزرگی) یکی است. OO_2 را با R نشان می‌دهیم.

۱۳ـ۱ نمایش کمیت‌های عددی و برداری

کمیت‌های عددی را با یک حرف نشان می‌دهند، مثلاً طول را با L، سطح را با A یا S، حجم را با V، جرم را با m یا M و... معرفی می‌کنند، ولی کمیت‌های برداری را با یک حرف و یک پیکان در بالای آن نشان می‌دهند. مثلاً نیرو را با $\vec{F}$، شتاب را با $\vec{a}$، میدان الکتریکی را با $\vec{E}$، میدان گرانش را با $\vec{g}$ و... .

بزرگی کمیت‌های برداری با حرف بدون پیکان نشان داده می‌شود. به‌عنوان مثال، بزرگی $\vec{E}$ را با E بزرگی $\vec{a}$ را با a، بزرگی $\vec{F}$ را با F و... معرفی می‌کنند. گاهی در چاپ کتاب‌ها کمیت‌های برداری را با حرف سیاه ضخیم نشان می‌دهند، به‌عنوان مثال به‌جای $\vec{F}$ حرف ضخیم F و به‌جای $\vec{a}$ حرف ضخیم a را می‌نویسند.

۱۴ـ۱ تفریق دو بردار

فرض کنید دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ مطابق شکل موجود است و

شکل ۱۵ـ۱

می‌خواهیم تفاضل $\vec{a}$ از $\vec{b}$ یعنی $\vec{a}-\vec{b}$ را به‌دست آوریم.

برای این کار به‌روش زیر عمل می‌کنیم:

۱ـ از نقطه‌ی دلخواه، O برداری موازی و مساوی و هم‌جهت با $\vec{a}$ رسم می‌کنیم.

۲ـ از انتهای $\vec{a}$ خطی موازی و مساوی و در خلاف

جهت $\vec{b}$ رسم می‌کنیم. این بردار، $-\vec{b}$ است.

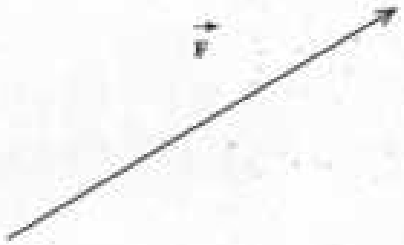
شکل ۱۶ـ۱

۳ـ از ابتدای $\vec{a}$ به انتهای $-\vec{b}$ وصل می‌کنیم، برداری که ابتدای آن در ابتدای $\vec{a}$ و انتهای آن در انتهای $-\vec{b}$ قرار دارد بردار موردنظر است. $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$

۱۵ـ۱ مؤلفه‌های عمود بر هم یک بردار (تجزیه بردار)

تا اینجا درباره‌ی تعیین برآیند دو کمیت برداری، مثلاً برآیند دو نیرو یا برآیند دو جابه‌جایی صحبت کردیم. اما در مواردی هم لازم است بدانیم که یک بردار، برآیند کدام دو بردار عمود برهم است، به‌عبارت دیگر می‌خواهیم یک بردار را به دو مؤلفه‌ی عمود بر هم تجزیه کنیم.

فرض کنید $\vec{F}$ وجود دارد. برای تعیین مؤلفه‌های عمود بر هم این بردار به شرح زیر عمل می‌کنیم:



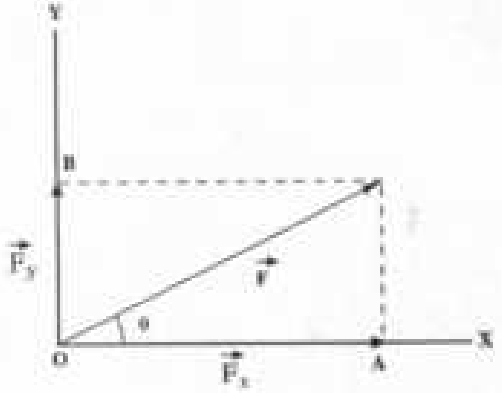
شکل ۱۷ـ۱

۱ـ از یک نقطه‌ی دلخواه مثل O، یک بردار موازی و مساوی و هم سوی $\vec{F}$ رسم می‌کنیم.

۲ـ از نقطه‌ی O دو خط افقی x و قائم y رسم می‌کنیم. این دو خط دستگاه مختصات x، y را تشکیل می‌دهند.

۳ـ از انتهای $\vec{F}$ با خط‌چین دو خط موازی با x و y رسم می‌کنیم.

۴ـ محل تلاقی خط‌چین قائم با x را A و محل تلاقی خط‌چین افقی با y را B می‌نامیم.



شکل ۱۸ـ۱

۵ـ در A و B علامت پیکان می‌گذاریم دو بردار $\overrightarrow{OA} = \vec{F}_x$ و $\overrightarrow{OB} = \vec{F}_y$ مؤلفه‌های $\vec{F}$ می‌باشند.

۶ـ اگر زاویه‌ی بین $\vec{F}$ با محور x را با θ نشان دهیم رابطه‌های بین $\vec{F}$، $\vec{F}_x$ و $\vec{F}_y$ چنین خواهد بود:

$$F_x^2 + F_y^2 = F^2 \quad (1)$$

$$\sin\theta = \frac{F_y}{F} \rightarrow F_y = F\sin\theta \quad (2)$$

$$\cos\theta = \frac{F_x}{F} \rightarrow F_x = F\cos\theta \quad (3)$$

در رابطه‌های فوق F بزرگی $\vec{F}$ و F_x بزرگی $\vec{F}_x$، و F_y بزرگی $\vec{F}_y$ است.

پرسش‌ها

۱ـ چند کمیت برداری و چند کمیت نرده‌ای نام ببرید. تفاوت کمیت‌های نرده‌ای و برداری را شرح دهید.

۲ـ دو نیروی ۸ نیوتون و ۶ نیوتون بر یک نقطه اثر می‌کنند:

الف ـ بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین برآیند این دو نیرو چه نیرویی است؟

ب ـ اگر این دو نیرو بر یک دیگر عمود باشند، نیروی برآیند چه نیرویی خواهد شد؟

۳ـ شخصی یک ماشین چمن‌زنی را با هُل دادن برروی خط مستقیم به پیش می‌راند. اگر بزرگی نیرویی که شخص در راستای دسته‌ی ماشین بر ماشین وارد می‌کند ۱۰۰ نیوتون و زاویه‌ی بین دسته‌ی چرخ با زمین $\theta = 30^\circ$ باشد،

الف ـ بزرگی نیرویی که ماشین را به جلو می‌راند چقدر است؟

ب ـ بزرگی نیرویی که ماشین را بر زمین می‌فشارد چقدر است؟

فصل ۲

حرکت

۱ـ۲ حرکت نسبی است

اگر با گذشت زمان مکان جسم A نسبت به جسم B تغییر نکند می‌گوییم که A نسبت به B ساکن است. هنگامی که مکان یک قطار نسبت به ایستگاه تغییر نمی‌کند، این قطار نسبت به ایستگاه یا شخصی که در ایستگاه نشسته است ساکن می‌باشد.

ازطرفی اگر با گذشت زمان مکان جسم A نسبت به جسم B تغییر کند، می‌گوییم که A نسبت به B در حرکت است.

فرض کنید شخصی در ایستگاه اتوبوس ایستاده است و مشاهده می‌کند که اتوبوس به راه می‌افتد. در این‌صورت مکان اتوبوس نسبت به او تغییر می‌کند. یک دوچرخه‌سوار حرکت خود را با نگاه کردن به اجسام اطراف خویش احساس می‌کند، به‌نظر می‌رسد که این اجسام به او نزدیک و یا از او دور می‌شوند. بسیار پیش می‌آید که جسم A نسبت به B ساکن است امّا A و B هردو نسبت به C در حرکت می‌باشند.

به‌عنوان مثال دو شخصی که در یک قطار درحال حرکت نشسته‌اند نسبت به یکدیگر ساکن‌اند ولی هردو نسبت به اجسام بیرون قطار در حرکت‌اند. از این مثال‌ها معلوم می‌شود که حرکت و سکون نسبی است.

۲ـ۲ سرعت

قبلاً درباره‌ی کمیت‌های عددی و برداری صحبت کردیم. در این قسمت که درباره‌ی حرکت صحبت می‌کنیم، شما با کمیت‌های برداری بیش‌تر آشنا خواهید شد.

وقتی می‌گوییم سرعت باد شمال ۹۰ کیلومتر بر ساعت است، علاوه‌بر بیان بزرگی آن که ۹۰ کیلومتر بر ساعت است جهت آن را نیز ـ از شمال به جنوب ـ مشخص کرده‌ایم، بنابراین سرعت که هم بزرگی و هم جهت دارد، یک کمیت برداری است. برای تعریف سرعت ابتدا بازهم درباره‌ی کمیت جابه‌جایی صحبت می‌کنیم.

۳ـ۲ جابه‌جایی

مطابق شکل ۱ـ۲ وقتی می‌خواهیم از نقطه‌ی A به نقطه‌ی D، که در شمال A واقع است، برویم، اگر موانعی در مسیر مستقیم AD وجود داشته باشد، مجبوریم مسیر دیگری مانند ABCD را انتخاب کنیم که از مسیر مستقیم AD طولانی‌تر است. یعنی با انتخاب این مسیر مسافت بزرگتری را می‌رویم درحالی که کوتاه‌ترین مسیر AD است. این کوتاه‌ترین مسیر از A به D جابه‌جایی نامیده می‌شود.

شکل ۱ـ۲

بردار جابه‌جایی، برداری است که نقطه‌ی آغاز حرکت را به‌نقطه‌ی پایانی حرکت وصل می‌کند.

در شکل نشان داده شد، $\vec{AD}$ بردار جابه‌جایی است و بزرگی جابه‌جایی با طول خط AD و جهت آن از A به D است.

اگر AB چهل کیلومتر و BC بیست کیلومتر باشد مسافتی که شخص طی کرده است تا از مسیر ABCD به D برسد ۱۰۰ کیلومتر است درصورتی که بزرگی جابه‌جایی انجام شده فقط ۴۰ کیلومتر می‌باشد.

۴ـ۲ سرعت متوسط

خارج قسمت بزرگی جابه‌جایی بر مدّت‌زمان حرکت را سرعت متوسط می‌گویند. در مثال قبل اگر شخصی در مدّت پنج

ساعت از A به D رسیده باشد سرعت متوسط او $\frac{۲۰km}{۵h}$ است.

توجه کنید که جابه‌جایی یک کمیت برداری و مدّت زمان یک کمیت عددی است، بنابراین سرعت متوسط یک کمیّت برداری می‌باشد.

یکای سرعت متوسط در دستگاه SI، متر بر ثانیه است و با نماد $\frac{m}{s}$ نشان داده می‌شود.

دقت کنید که تعریف سرعت در فیزیک با اصطلاح رایج آن در بین عامه‌ی مردم متفاوت است.

عامه‌ی مردم در زندگی خود سرعت را از تقسیم مسافت بر مدّت‌زمان به‌دست می‌آورند، این تعریف در فیزیک کاربرد چندانی ندارد.

شکل ۲ـ۲

مثال: فرض کنید فاصله‌ی مستقیم بین دو نقطه‌ی A و B ۲۰km است. شخصی در ساعت ۱۰ صبح از نقطه‌ی A حرکت می‌کند و در ساعت ۱۴ به نقطه‌ی B می‌رسد، تا ساعت ۱۵ در نقطه‌ی B استراحت کرده و در ساعت ۱۵ از B حرکت می‌کند و همان مسیر مستقیم را طی می‌کند و در ساعت ۲۲ به نقطه‌ی A بازمی‌گردد.

الف ـ سرعت متوسط شخص را از ساعت ۱۰ تا ۱۴ تعیین کنید.

ب ـ سرعت متوسط شخص را از ساعت ۱۰ تا ۱۵ تعیین کنید.

پ ـ سرعت متوسط شخص را از ساعت ۱۰ تا ساعت ۲۲ تعیین کنید.

حل: می‌دانیم که سرعت متوسط از تقسیم جابه‌جایی بر مدّت‌زمان جابه‌جایی به‌دست می‌آید.

$$\overline{V}_۱ = \frac{\vec{AB}}{\Delta t_۱} = \frac{۲۰km}{(۱۴-۱۰)h} = \frac{۲۰km}{۴h} = ۵\frac{km}{h}$$

$$\overline{V}_۲ = \frac{\vec{AB}}{\Delta t_۲} = \frac{۲۰km}{(۱۵-۱۰)h} = \frac{۲۰km}{۵h} = ۴\frac{km}{h}$$

$$\overline{V}_۳ = \frac{\vec{AB}}{\Delta t_۳} = \frac{۰km}{(۲۲-۱۰)h} = \frac{۰}{۱۲} = ۰$$

توجه داشته باشید که سرعت متوسط هیچ اطلاعی در مورد چگونگی جابه‌جایی نمی‌دهد.

۵ـ۲ سرعت ثابت

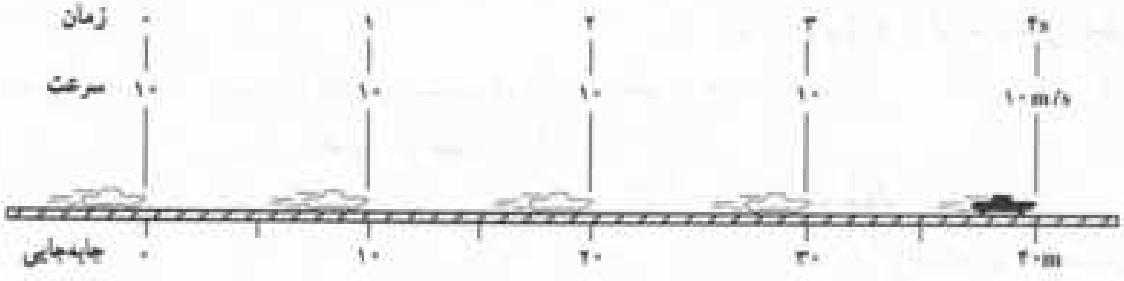
اتومبیلی را درنظر بگیرید که بر روی خط راست درحرکت است. در شکل ۳ـ۲ مکان این اتومبیل در زمان‌های مختلف نشان داده شده است.

سرعت متوسط این اتومبیل را در فاصله‌های زمانی دل‌خواه محاسبه کرده و در جدول نشان داده‌ایم. جدول نشان می‌دهد که سرعت متوسط اتومبیل در فاصله‌های زمانی دل‌خواه یکسان است.

اگر سرعت متوسط متحرکی در تمام فاصله‌های زمانی دل‌خواه یکسان باشد، می‌گویند این متحرک با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

در چنین حرکتی، سرعت در هرلحظه با سرعت متوسط مساوی است. اگر سرعت در هرلحظه را با v و سرعت متوسط را با $\overline{v}$ نشان دهیم می‌توانیم بنویسیم:

$$\overline{v} = v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$



شکل ۳ـ۲

جدول ۱ـ۲

t_1	t_2	مدت‌زمان Δt	جابه‌جایی $x(m)$	سرعت متوسط $\bar{V}=\frac{x}{t}(m/s)$
۰	۱	۱	۱۰−۰=۱۰	$\frac{۱۰}{۱}=۱۰$
۱	۲	۱	۲۰−۱۰=۱۰	$\frac{۱۰}{۱}=۱۰$
۲	۴	۲	۴۰−۲۰=۲۰	$\frac{۲۰}{۲}=۱۰$
۰	۴	۴	۴۰−۰=۴۰	$\frac{۴۰}{۴}=۱۰$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

۶ـ۲ حرکت شتاب‌دار

اگر با گذشت زمان سرعت جسم تغییر کند می‌گوییم حرکت شتاب‌دار است. ***تغییر سرعت می‌تواند به معنی تغییر در بزرگی سرعت، تغییر در جهت سرعت، و یا تغییر در هردو باشد.***

در این کتاب حرکت اجسامی را بررسی می‌کنیم که در یک جهت (بر روی خط راست و در یک سوی آن خط) جابه‌جا می‌شوند.

۷ـ۲ شتاب متوسط

فرض کنید سرعت اتومبیلی در لحظه‌ی t_1 برابر v_1 و در لحظه‌ی t_2 برابر با v_2 است. طبق تعریف، شتاب متوسط اتومبیل از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

شتاب متوسط را با نماد $\bar{a}$ نشان می‌دهند.

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر در سرعت}}{\text{مدت تغییر سرعت}}$$

$$\bar{a}\left(\frac{m}{s^2}\right)=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1(m/s)}{t_2-t_1(s)}$$

یکای شتاب متوسط متر بر مجذور ثانیه است که به صورت $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ ***معرفی می‌شود.***

مثال: اتوبوسی از ایستگاه حرکت می‌کند، اگر سرعت اتوبوس پس از ۶ ثانیه به ۲۴ متر بر ثانیه برسد، شتاب متوسط آن چقدر بوده است؟

حل: اتوبوس از ایستگاه حرکت کرده بنابراین سرعت اولیه‌ی آن (v_1) صفر بوده است.

$$v_1 = ۰$$

$$\Delta t = ۶$$

$$v_2 = ۲۴$$

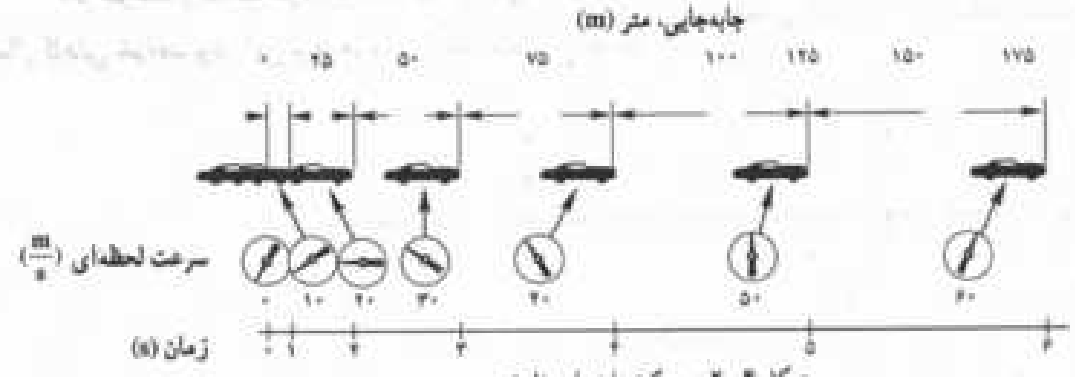
$$\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{۲۴-۰(m/s)}{۶(s)}=۴\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

۸ـ۲ حرکت با شتاب ثابت

شکل ۴ـ۲ حرکت اتومبیلی را نشان می‌دهد که شتاب متوسط آن در فاصله‌های زمانی دل‌خواه ثبت شده است.

جدول ۲ـ۲ نشان می‌دهد که شتاب متوسط این اتومبیل در تمام فاصله‌های زمانی دل‌خواه ثابت است. چنین حرکتی را حرکت با شتاب ثابت می‌گویند.

اگر در حرکت جسمی، تغییر سرعت در فاصله‌های زمانی دل‌خواه یکسان باشد، حرکت جسم شتاب‌دار و با شتاب ثابت است.



شکل ۴ـ۲ـ حرکت با شتاب ثابت

جدول ۲ـ۲

t_1	t_2	مدت زمان $t(s)$	تغییر سرعت $\Delta V(m/s)$	شتاب متوسط $\bar{a}=\frac{\Delta v}{t}(m/s^2)$
۰	۱	۱	۱۰−۰=۱۰	$\frac{۱۰}{۱}=۱۰$
۱	۲	۱	۲۰−۱۰=۱۰	$\frac{۱۰}{۱}=۱۰$
۳ ⋮	۵ ⋮	۲ ⋮	۵۰−۳۰=۲۰ ⋮	$\frac{۲۰}{۲}=۱۰$ ⋮

برای چنین حرکتی می‌توان به‌جای واژه‌ی شتاب متوسط با نماد $\bar{a}$، از واژه‌ی شتاب با نماد a استفاده کرد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\bar{a}=a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

توجه داشته باشید که سرعت یک کمیت‌برداری و زمان یک کمیت عددی است. بنابراین شتاب یک کمیت‌برداری می‌باشد.

توجه داشته باشید وقتی حرکت بر روی خط راست را بررسی می‌کنیم و برای حرکت مبدأ مختصاتی درنظر می‌گیریم، سرعت و شتاب هر دو دارای علامت است. در یک حرکت بر روی خط راست، سرعت و شتاب می‌تواند هر دو مثبت، یا هردو منفی، یا یکی مثبت و دیگری منفی باشد.

سرعت تندشونده و سرعت کندشونده

اگر سرعت و شتاب هم علامت باشند، بزرگی سرعت در حال افزایش خواهد بود. این نوع حرکت را حرکتی تندشونده می‌گویند.

اگر سرعت و شتاب هم علامت نباشند، بزرگی سرعت در حال کاهش خواهد بود. این نوع حرکت را حرکت کندشونده می‌گویند.

۹ـ۲ معادله‌های حرکت بر روی خط راست

معادله‌هایی که در این قسمت بررسی می‌کنیم، درباره‌ی حرکت اجسامی است که در یک راستا و در یک‌سو و با شتاب ثابت حرکت می‌کنند.

فرض کنید متحرکی با شتاب ثابت a درحرکت است و سرعت آن در لحظه‌ی $t_0=0$ برابر v_0 و در لحظه‌ی t برابر با v می‌باشد. طبق تعریف، شتاب این متحرک از رابطه‌ی (۱) به‌دست می‌آید:

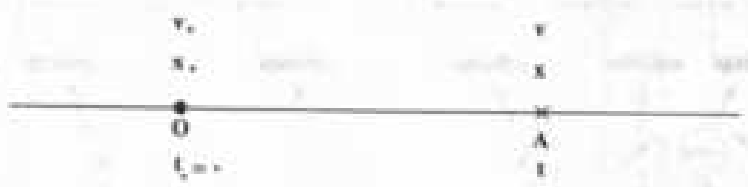
$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v-v_0}{t} \qquad (1)$$

بدیهی است که این رابطه را به‌صورت زیر هم می‌توان نوشت:

$$v-v_0=at \rightarrow v=v_0+at \qquad (2)$$

این معادله را معادله‌ی سرعت ـ زمان می‌گویند.

اگر متحرک در لحظه‌ی $t_0=0$ در مبدأ مختصات $x_0=0$ قرار داشته باشد، در لحظه‌ی t، وقتی که سرعت آن v است، در نقطه‌ای مانند A قرار خواهد داشت؛ بنابراین:



شکل ۵ـ۲

جابه‌جایی انجام شده x و مدّت جابه‌جایی t است. درنتیجه طبق تعریف سرعت متوسط می‌توان نوشت :

$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{x-0}{t-0}=\frac{x}{t} \qquad (۳)$$

ازطرف دیگر وقتی سرعت با شتاب ثابت a تغییر می‌کند سرعت متوسط این دو لحظه $t_0=0$ و t از رابطه‌ی (۴) به‌دست می‌آید :

$$\bar{v}=\frac{v+v_0}{2} \qquad (۴)$$

دو رابطه‌ی (۳ و ۴) را مساوی هم قرار می‌دهیم، خواهیم داشت :

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

این رابطه را به صورت زیر می‌نویسیم :

$$x=\left(\frac{v+v_0}{2}\right)t \qquad (۵)$$

در رابطه‌ی اخیر، به‌جای v مساوی آن را از رابطه‌ی (۱) قرار می‌دهیم :

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

حال این رابطه را به‌صورت زیر می‌نویسیم.

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

$$\bar{x}=\frac{1}{2}at^2+v_0t \qquad (۶)$$

معادله‌ی (۶) را معادله‌ی مکان ــ زمان می‌گویند.

معادله‌ی (۱) را به‌صورت زیر می‌نویسیم :

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

حالا در معادله‌ی (۵) به جای t مساوی آن را قرار می‌دهیم. معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید :

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

$$2ax=v^2-v_0^2 \qquad (۷)$$

این معادله‌ی بدون t، معادله‌ی مفیدی برای حل بسیاری از مسایل است.

۱۰ــ۲ شتاب سقوط آزاد

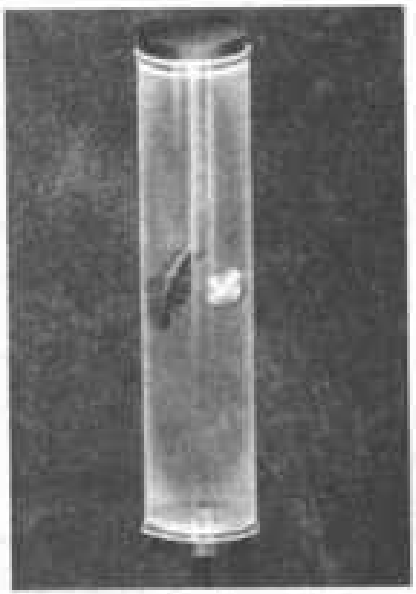
وسایلی که در سطح زمین حرکت می‌کنند، می‌توانند شتاب‌های متفاوتی داشته باشند. جسمی که در نزدیکی سطح زمین سقوط می‌کند شتاب ثابتی دارد.

سال‌ها قبل فضانوردی بر روی کره ماه ایستاد، یک چکش و یک پر را باهم رها کرد، معلوم شد که چکش و پر هردو با شتاب ۱/۶ متر بر مجذور ثانیه سقوط می‌کنند تا به سطح ماه برسند.

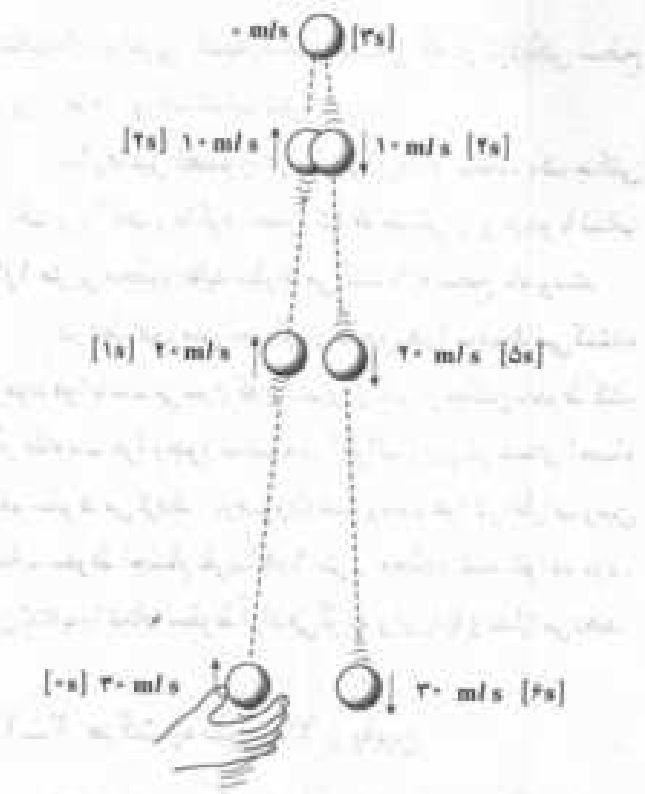
در اطراف زمین اجسام در داخل هوا سقوط می‌کنند، وجود هوا باعث می‌شود که پر بسیار آرام‌تر از چکش سقوط کند. اگر مقاومت هوا وجود نداشت در اطراف زمین نیز همه‌ی اجسام باهم سقوط می‌کردند. درصورت عدم وجود هوا در اطراف زمین شتاب سقوط اجسام تقریباً ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه خواهد بود. این شتاب را شتاب سقوط آزاد می‌گویند و آن‌را با g نشان می‌دهند.

۱۱ــ۲ حرکت به سوی بالا و پایین

فرض کنید بزرگی g، $۱۰\ \frac{m}{s^2}$ است و از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود. در چنین حالتی اگر گلوله را به‌سوی بالا پرتاب کنیم سرعت گلوله در هر ثانیه به‌اندازه‌ی ۱۰ m/s کم می‌شود تا به بالاترین نقطه برسد و به‌طرف زمین برگردد. هنگام برگشتن گلوله به سوی زمین سرعت آن در هر ثانیه به‌اندازه‌ی $۱۰\ \frac{m}{s}$ بیش‌تر می‌شود. ***توجه کنید که در هر نقطه از مسیر بزرگی سرعت گلوله هنگام بالارفتن با بزرگی سرعت آن هنگام پایین آمدن برابر است.***



شکل ۶ــ۲ــ سقوط آزاد در خلأ. سکه و پر با هم سقوط می‌کنند!



شکل ۷ـ۲ـ گلوله به سوی بالا پرتاب شده است. بزرگی سرعت گلوله در هر ثانیه تقریباً $۱۰\frac{m}{s}$ تغییر می‌کند.

همچنین توجه داشته باشید که اگر سرعت گلوله هنگام پایین آمدن با علامت منفی نشان داده شود، سرعت آن هنگام بالارفتن باید با علامت مثبت نشان داده شود.

در شکل بزرگی سرعت روبه‌پایین گلوله (سرعت منفی) در هرلحظه با افزودن ۱۰ m/s به سرعت، سرعت یک ثانیه قبل به‌دست آمده است. همچنین بزرگی سرعت روبه‌بالای گلوله (سرعت مثبت) در هرلحظه با کم‌کردن ۱۰ m/s از سرعت، سرعت یک ثانیه قبل به‌دست آمده است.

۱۲ـ۲ بزرگی g و معادله‌های سقوط آزاد

در معادله‌ی سرعت ـ زمان یعنی : $v = v_۰ + at$ و معادله‌ی مکان ـ زمان، یعنی : $x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t$ و معادله‌ی بدون زمان، یعنی : $v^۲ - v_۰^۲ = ۲ax$ اگر به‌جای شتاب a شتاب سقوط آزاد g (شتاب گرانش) قرارداده شود معادله‌های سقوط آزاد به‌دست می‌آید. ضمناً نظر به اینکه سقوط در راستای قائم انجام می‌گیرد به جای x از y استفاده می‌کنیم، بنابراین می‌توان نوشت :

$$v = v_۰ - gt$$

$$y = \frac{-۱}{۲}gt^۲ + v_۰t$$

$$v^۲ - v_۰^۲ = -۲gy$$

توجه داشته باشید، چون جهت g به سوی پایین می‌باشد، در معادلات g با علامت منفی وارد شده است.

هنگام حل مسأله به موارد زیر توجه کنید.

۱ـ جهت روبه‌پایین را با علامت منفی (−) مشخص کنید، در این‌صورت جهت روبه‌بالا مثبت (+) خواهد بود.

۲ـ نقطه‌ی آغاز حرکت را مبدأ مختصات بگیرید، جابه‌جایی از نقطه‌ی آغاز تا هر نقطه‌ی دل‌خواه را با y نشان دهید.

۳ـ به اطلاعات پنهان درصورت مسأله توجه کنید.

۱ـ۳ سرعت جسم در بالاترین نقطه‌ی حرکت صفر است، $v = ۰$

۲ـ۳ در نقطه‌ی آغاز حرکت، به‌هنگام بالارفتن و چه به‌هنگام بازگشتن، $y = ۰$ است.

۳ـ۳ اگر جسم از حالت سکون حرکت کرده باشد، $v_۰ = ۰$ است.

۴ـ۳ وقتی گلوله در فضا قراردارد، بدون توجه به آن‌که به‌سوی بالا می‌رود یا به‌سوی پایین می‌آید بزرگی شتاب حرکت $a = g$ جهت شتاب در راستای قائم و به‌سوی پایین است.

۴ـ yهای بالای مبدأ مثبت وyهای پایین مبدأ منفی می‌شود.

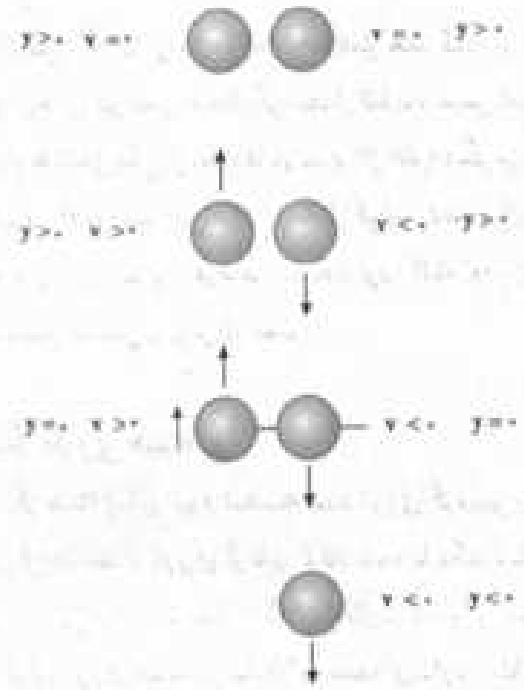
مثال: گلوله‌ای با سرعت ۳۰m/s ، در راستای قائم، به‌سوی بالا پرتاب می‌شود. اگر مقاومت هوا ناچیز باشد و $g = ۱۰ m/s^۲$ فرض شود، گلوله پس از چند ثانیه به محل پرتاب برمی‌گردد؟

حل: دراین شکل مسیر فرضی حرکت گلوله را نشان داده‌ایم.

برای حل، معادله‌ی مکان ـ زمان را می‌نویسیم :

$$y = -\frac{۱}{۲}gt^۲ + v_۰t$$

در این مسأله نقطه‌ی موردمطالعه، نقطه‌ی آغاز حرکت است بنابراین جابه‌جایی صفر است $y = ۰$. در آغاز حرکت سرعت



شکل ۸ـ۲

به سوی بالا است. اگر سوی بالا را مثبت بگیریم، علامت سرعت اولیه مثبت خواهد بود $v_0 = +30 m/s$.

شتاب حرکت، شتاب گرانش است که به‌سوی پایین می‌باشد بنابراین شتاب $a = g = -10 m/s^2$ است.

زمان (t) مجهول است، برای به‌دست آوردن زمان در نقطه‌ی $y = 0$، معلومات موجود را در معادله‌ی مکان ــ زمان قرار می‌دهیم.

$$0 = -\frac{1}{2} \times 10 t^2 + 30 t$$

$$0 = -5t^2 + 30t = 5t(-t + 6) = 0$$

با حل این معادله معلوم می‌شود. $t = 0, t = 6$

یعنی گلوله در دو لحظه‌ی متفاوت $t = 0$ (آغاز حرکت) و $t = 6$، یعنی ۶ ثانیه پس از حرکت، در $y = 0$ قرارداشته است.

پرسش‌ها

۱ـ گلوله‌ای با سرعت اولیه‌ی $10 m/s$ از فاصله‌ی $15 cm$ سطح زمین در راستای قائم به‌سوی بالا پرتاب می‌شود:

فرض کنید که $g = 10 m/s^2$ است و از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود.

الف ــ پس از چند ثانیه گلوله به بالاترین نقطه‌ی مسیر حرکت خود خواهد رسید؟

ب ــ گلوله تا چه اندازه از محل پرتاب بالاتر می‌رود؟

پ ــ پس از چند ثانیه گلوله به محل پرتاب برمی‌گردد؟

ت ــ سرعت گلوله هنگام رسیدن به سطح زمین چقدر است؟

۲ـ فضانوردی، در حالی که بر روی کره ماه قراردارد، جسمی را از ارتفاع ۳/۲ متری رها می‌کند، جسم پس از دو ثانیه به سطح ماه می‌رسد، شتاب حرکت را در اطراف کره‌ی ماه به‌دست آورید.

۳ـ گلوله‌ای با سرعت $40 m/s$ از بالای یک صخره به‌سوی بالا شلیک می‌شود. فاصله‌ی گلوله از صخره، در ثانیه‌های سوم، چهارم، پنجم و هشتم، پس از شلیک، چقدر است؟

$g = 10 m/s^2$ است و از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود.

۴ـ گلوله‌ای از بالای صخره‌ای در کنار دریا با سرعت $40 m/s$ به سوی بالا پرتاب می‌شود. فاصله گلوله از بالای محل پرتاب پس از ۳، ۴، ۵ و ۸ ثانیه بعد چقدر است؟ اگر گلوله ده ثانیه پس از پرتاب به سطح آب برسد، ارتفاع صخره چند متر است؟

۱۳ـ۲ اینرسی و جرم

می‌دانید که برای حرکت‌دادن جسمی که ساکن است، باید نیرویی به آن وارد کنیم. همچنین اگر جسمی درحال حرکت باشد، برای افزایش یا کاهش سرعت آن و یا برای تغییر جهت حرکت آن

باید نیرویی به آن وارد کنیم. نیوتون این مقاومت دربرابر تغییر سرعت را اینرسی (لختی) نامید. معلوم است که هرچه جرم جسم بیش‌تر باشد اینرسی آن نیز بیش‌تر خواهد بود. سکّه‌ای را بر روی یک برگ کاغذ قراردهید. حال اگر کاغذ را سریعاً بکشید سکّه در جای خود می‌ماند، علت ماندن سکّه در جای خود، نبودن نیروی مؤثر بر آن است.

۱۴ـ۲ رابطه‌ی بین نیرو، جرم و شتاب

یک جسم وقتی شتاب می‌گیرد که نیرویی به آن وارد شود. بزرگی شتاب به بزرگی جرم جسم و بزرگی نیرو بستگی دارد. به‌طور کلی کمیت «شتاب × جرم» را نیرو می‌نامیم.

شتاب × جرم = نیرو

اگر جرم یک کیلوگرم با شتاب $1 m/s^2$ حرکت کند، نیروی مؤثر بر آن یک کیلوگرم متر بر مجذور ثانیه ($1 kg\,m/s^2$) خواهد بود. نیروی $1 kg\,m/s^2$ را یک نیوتون می‌گویند و آن را با N نشان می‌دهند. یکای نیرو در دستگاه بین‌المللی یکاها نیوتون است. معمولاً نیوتون را به‌صورت زیر نیز تعریف می‌کنند.

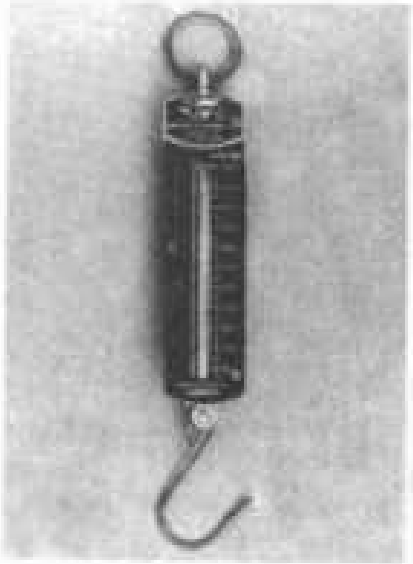
یک نیوتون نیرویی است که به جرم 1kg شتاب $1 m/s^2$ می‌دهد. رابطه‌ی بین نیرو، جرم و شتاب به‌این‌صورت نوشته می‌شود:

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

براساس این رابطه، اگر نیروی ۶نیوتون بر جرم ۲کیلوگرم وارد شود، شتاب $3 m/s^2$ به آن می‌دهد، همچنین اگر نیروی ۱۲نیوتون بر جرم 2kg وارد شود شتاب حاصل از آن $6 m/s^2$ خواهد بود.

نیرو دارای بزرگی (عدد و یکا) و جهت (راستا و سو) است، بنابراین یک کمیت برداری است. شتاب تولیدشده به‌وسیله‌ی نیرو نیز یک کمیت‌برداری است. جهت شتاب با جهت نیرو یکی است.

نیرو را معمولاً با دستگاهی به‌نام نیروسنج اندازه می‌گیرند. وقتی قلاب نیروسنج را می‌کشیم فنر نیروسنج آن‌قدر باز می‌شود تا بتواند نیروی مساوی برای تعادل را بر قلاب وارد کند. افزایش طول فنر، بزرگی نیرویی را که بر آن وارد می‌شود مشخص می‌کند.



شکل ۹ـ۲ـ نیروسنج، هرچه نیرو بیش‌تر باشد، فنر نیروسنج بیش‌تر کشیده می‌شود.

پرسش‌ها

۱ـ یکای نیرو در دستگاه بین‌المللی یکاها چیست و چگونه تعریف می‌شود؟

۲ـ جسمی به جرم 8kg با شتاب $5 m/s^2$ در حرکت است نیرویی را که بر جسم وارد می‌شود تعیین کنید. اگر جرم این جسم دوبرابر شود برای به‌دست آوردن همین مقدار شتاب چه نیرویی لازم است؟

۳ـ اگرنیروی ۶ نیوتون بر جرم ۲کیلوگرم اثر کند شتاب حرکت جسم چقدر خواهد بود؟

۴ـ دراثر وارد شدن یک نیرو بر جسمی، سرعت آن جسم در مدّت دوثانیه، از $3 m/s$ به $9 m/s$ می‌رسد. شتاب حرکت و نیروی وارد برجسم را تعیین کنید. جرم جسم ۸ کیلوگرم می‌باشد.

۵ـ سه جسم متفاوت با جرم‌های ۰٫۱، ۲ و ۱۰ کیلوگرم با شتاب $10 m/s^2$ به‌طرف زمین کشیده می‌شوند. نیروی مؤثر هریک از آن‌ها چه‌قدر است؟

۱۵ــ۲ نیروی گرانش

تمام جرم‌ها در مقابل تغییر سرعت (شتاب) مقاومت می‌کنند، همچنین تمام جرم‌ها یکدیگر را می‌ربایند.

اگر جسمی را به نیروسنجی آویزان کنیم، افزایش طول فنر نشان آن است که نیروی جسم را به‌طرف زمین می‌کشند، این کشش به‌سوی زمین را نیروی گرانش زمین می‌گویند.

زمین تنها جسمی نیست که نیروی گرانش دارد. نیروی گرانش در بین تمام اجسام وجود دارد. هرچه جرم دو جسم بیش‌تر و به‌هم نزدیک‌تر باشند، نیروی بزرگ‌تری به یکدیگر وارد می‌سازند.

نیروی کشش یا جاذبه‌ی بین اجسام معمولاً خیلی ضعیف و غیرقابل اندازه‌گیری است به‌عنوان مثال، نیروی جاذبه‌ی بین شما و یک کتاب تقریباً یک ده میلیونیم نیوتون (10^{-7} N) است، اما جسم بزرگی مانند زمین، اجسام نزدیک خود را با نیروی قابل توجهی به‌طرف خود می‌کشد.

۱۶ــ۲ وزن

وزن یک جسم در سطح زمین نیرویی است که زمین با آن نیرو جسم را به‌طرف خود می‌کشد.

به‌طور کلی می‌توان گفت، وزن یک جسم در روی زمین یا کره‌ای دیگر برابر نیروی گرانشی است که از طرف زمین یا آن کره‌ی دیگر به آن جسم وارد می‌شود.

وزن از جنس نیرو است و برحسب نیوتون (N) اندازه‌گیری می‌شود.

وقتی جسمی در نزدیکی سطح زمین سقوط می‌کند، وزن جسم نیرویی است که به آن جسم شتاب رو به پایین (g) داده است. بنابراین با این فرض که شتاب سقوط آزاد $g = 10 \frac{m}{s^2}$ است، وزن جسم را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی $F = mg$ به‌دست آورد.

فرض کنید دو جسم با جرم ۱ و ۲ کیلوگرم در نزدیکی زمین سقوط می‌کنند. وزن آن‌ها، به عبارت دیگر نیروی که زمین بر آن‌ها وارد می‌کند، عبارت است از :

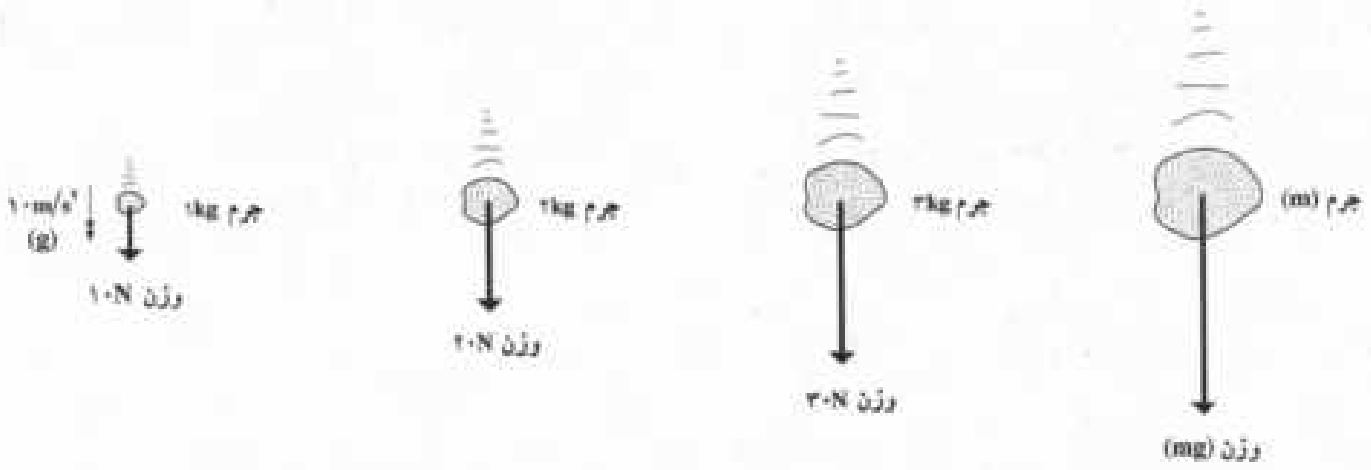
$$F = mg = 1 \times 10 = 10\,N$$

$$F = mg = 2 \times 10 = 20\,N$$

وزن را معمولاً با W نشان می‌دهند بنابراین رابطه‌ی بین m، W و g در نزدیکی زمین به‌صورت زیر است :

$$\vec{W} = m\vec{g}$$

شکل پایین، وزن چند جسم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ۲ــ اجسامی که در میدان گرانشی یکسان قرار می‌گیرند شتاب یکسانی پیدا می‌کنند.

۱۷ــ۲ میدان گرانش

گاهی این تفکر که اطراف زمین را یک میدان گرانش فراگرفته است و زمین به هر جرم واقع در این میدان نیرو وارد می‌کند، بسیار مفید است.

شکل بالا نشان می‌دهد که نیروی گرانشی وارد بر هر کیلوگرم ۱۰ نیوتون است.

میدان گرانش با شدت میدان گرانش در نزدیکی زمین، ده‌نیوتون بر کیلوگرم (۱۰N/kg) است. ***بزرگی میدان گرانش از تقسیم وزن هر جسم بر جرم آن جسم به‌دست می‌آید.***

$$\text{(میدان گرانش) } g = \frac{\text{(وزن جسم) } W}{\text{(جرم جسم) } m}$$

درمحاسبات دقیق‌تر بهتر است بزرگی g را برابر با $g = 9/8 \frac{N}{kg}$ انتخاب کنیم.

۱۸ــ۲ تغییرات وزن

وزن جسم به فاصله‌ی آن جسم از مرکز زمین بستگی دارد. اگر فاصله‌ی بین جسم و مرکز زمین بیش‌تر گردد میدان گرانش زمین در محل کم‌تر می‌شود. درنتیجه، وزن جسم در آن محل کم‌تر خواهد شد.

حتی در سطح زمین وزن یک جسم از جایی به جای دیگر اندکی تغییر می‌کند. در این‌حالت یکی از علل تغییر وزن این است که چون زمین یک کره‌ی کامل نیست، با تغییر محل جسم فاصله‌ی جسم از مرکز زمین اندکی تغییر می‌کند. البته غالباً از این تغییرات جزئی صرف‌نظر می‌شود. وزن یک جسم یک کیلوگرمی در قطب‌ها ۹/۸۳ نیوتون و در استوا تقریباً ۹/۷۸ نیوتون است.

۱۹ــ۲ وزن در کره‌ی ماه و در فضا

جرم کره‌ی ماه از جرم کره‌ی زمین کم‌تر است. وزن یک جسم یک کیلوگرمی در کره‌ی ماه تقریباً ۱/۶۷N می‌باشد. اگر بتوانیم جسمی را در فضا به دور از همه‌ی نیروهای گرانشی قرار دهیم، جسم به کلی وزنی نخواهد داشت.

۲۰ــ۲ وزن و جرم

وزن اجسام، در روی زمین، با جرم آن‌ها نسبت مستقیم دارد. ***بنابراین از نیروسنج، که برای اندازه‌گیری وزن بکار می‌رود می‌توان برای اندازه‌گیری جرم نیز استفاده کرد. اگر از یک نیروسنج که در روی زمین برحسب جرم مدرج شده است در سطح کره‌ی ماه استفاده شود، جرمی که این نیروسنج نشان می‌دهد غلط خواهد بود.***

غالباً مردم، به‌طور غلط، از کیلوگرم هم به‌عنوان یکای جرم و هم به‌عنوان یکای وزن استفاده می‌کنند. امّا می‌دانید که وزن یک نیرو است و برحسب نیوتون اندازه‌گیری می‌شود درصورتی که جرم را برحسب کیلوگرم می‌سنجند.

به‌عنوان مثال اگر جرم شما ۴۵kg باشد وزن شما در سطح زمین تقریباً ۴۵۰N است، وزن شما ۴۵kg نیست. باید توجه کرد که جرم شما در سطح زمین و در سطح ماه همان ۴۵kg می‌باشد در صورتی که وزن شما در سطح زمین ۱۰×۴۵ نیوتون و در سطح کره‌ی ماه ۱/۶×۴۵ نیوتون می‌باشد.

پرسش‌ها

(فرض کنید $g = 10 m/s^2 = 10 \frac{N}{kg}$ است)

۱ــ یکاهای کمیتهای نیرو، جرم و وزن را نام ببرید.

۲ــ دو ویژگی جرم را نام ببرید.

۳ــ زمین بر سنگ ساکن نیروی ۲۰N وارد می‌کند، وزن و جرم سنگ را به‌دست آورید.

۴ــ وزن جرم یک کیلوگرم در روی زمین چقدر است؟ وزن جرم‌های زیر بر روی کره‌ی زمین چقدر است؟

۲kg ، ۵kg ، ۵۰kg

جرم این اجسام در کره‌ی ماه چقدر است؟

۵ـ شتاب گرانش در نزدیکی سطح ماه $1/67 m/s^2$ می‌باشد.

الف ـ میدان گرانش در نزدیکی ماه چقدر است؟

ب ـ اگر جسمی به جرم $20 kg$ در سطح ماه قرارگیرد وزن آن چقدر خواهد بود؟

پ ـ جسمی در سطح ماه از نقطه A رها می‌شود، اگر این جسم پس از مدّت ۴ ثانیه به سطح ماه برسد، فاصله A تا سطح ماه چند متر است؟

۶ـ جسمی در نزدیک سطح ماه با سرعت $30 m/s$ در راستای قائم به سوی بالا پرتاب می‌شود،

الف ـ جسم چند متر بالا می‌رود؟

ب ـ چند ثانیه طول می‌کشد تا جسم به نقطه پرتاب برگردد؟

فصل ۳

نیرو، حرکت

۱ـ۳ قانون اوّل نیوتون

در اطراف ما هیچ جسمی از اثر نیروها در امان نیست، با استفاده از قانون اوّل نیوتون می‌توان فهمید که اگر بر جسمی نیرویی وارد نشود چه وضعی دارد.

از معادله‌ی $F=ma$ مشخص می‌شود که اگر بر جسمی نیرویی وارد نشود ($F=0$) شتاب آن صفر است ($a=0$). چنین جسمی اگر در حال سکون باشد، ساکن خواهد ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود، با سرعت ثابت، بر روی خط راست ادامه می‌دهد. برای حرکت بر روی خط راست با سرعت ثابت هیچ نیرویی لازم نیست. نیرو وقتی لازم است که تغییر سرعت لازم است. این مفاهیم در قانون اوّل نیوتون خلاصه شده است قانون اوّل نیوتون به‌صورت زیر بیان می‌شود:

اگر نیروی خارجی بر جسمی وارد نشود، جسم یا ساکن است و یا با سرعت ثابت برروی خط راست حرکت می‌کند.

تجربه نشان می‌دهد که در روی زمین اجسام در حال حرکت پس از مدّتی می‌ایستند. علت این ایستادن اثر نیروهای اصطکاک برروی جسم است.

۲ـ۳ اصطکاک

نیروی اصطکاک به نیرویی گفته می‌شود که با لغزیدن اجسام برروی یکدیگر مقابله می‌کند. هنگامی که شما دست‌هایتان را به‌هم می‌مالید، بین دو دست شما نیروی اصطکاک به‌وجود می‌آید. هنگامی که در روی زمین راه می‌روید، بین کف کفش شما و زمین نیروی اصطکاک ایجاد می‌شود. به‌طور کلی نیروی اصطکاک به‌دو دلیل ظاهر می‌شود:

۱ـ پستی و بلندی‌های دو سطح درهم فرو می‌روند.

۲ـ مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی دو سطح، وقتی خیلی به‌هم نزدیک می‌شوند به یکدیگر نیروهای بین مولکولی وارد می‌کنند.

اصطکاک علاوه‌بر آن که مانع حرکت آزاد قسمت‌های مختلف یک ماشین می‌شود، موجب گرم شدن قسمت‌هایی می‌شود که برروی هم می‌لغزند.

برای کاهش دادن اصطکاک، غالباً چرخ‌ها را طوری می‌سازند که برروی یاتاقان‌های ساچمه‌ای یا غلتکی قرار گیرند. برای روان‌تر شدن حرکت سطوح برروی هم از روغن استفاده می‌شود.

در بسیاری از موارد وجود اصطکاک لازم است. اگر اصطکاک نبود، نمی‌توانستیم برروی زمین راه برویم، اتومبیل‌ها جابه‌جا نمی‌شدند و ترمزها کار نمی‌کردند.

۳ـ۳ اصطکاک ایستایی و لغزشی

به شکل ۱ـ۳ توجه کنید. وقتی با نیروی کم و افقی جسم را می‌کشیم جسم حرکت نمی‌کند، زیرا بزرگی نیروی اصطکاک با بزرگی نیرویی که ما به جسم وارد می‌کنیم مساوی و در سوی مخالف با آن است.

اصطکاک ایستایی از اصطکاک لغزشی بزرگتر است.

شکل ۱ـ۳ـ اصطکاک ایستایی و لغزشی

حالا کمی نیرویی را که بر جسم وارد می‌شود بیش‌تر می‌کنیم، می‌بینیم باز هم جسم حرکت نمی‌کند یعنی نیروی اصطکاک نیز بزرگ‌تر از نیروی اصطکاک در حالت قبل است، همین نیرو با حرکت جسم مخالفت می‌کند.

آنقدر نیروی کشش را بیشتر می‌کنیم تا جسم در آستانه‌ی

حرکت قرار گیرد، در این حالت نیروی اصطکاک بیش‌ترین مقدار را دارد، این مقدار نیرو را نیروی اصطکاک ایستایی[1] (آستانه‌ی حرکت) می‌گویند.

وقتی جسم در حرکت است، نیروی اصطکاک، اندکی کم‌تر از نیروی اصطکاک ایستایی است. نیروی اصطکاک در حالت حرکت را نیروی اصطکاک لغزشی[2] می‌گویند.

با توجه به مطالب بالا به این نتیجه می‌رسیم که به حرکت‌درآوردن جسم از حالت سکون از ادامه دادن حرکت جسم مشکل‌تر است.

۳ـ۴ اصطکاک شاره‌ها[3]

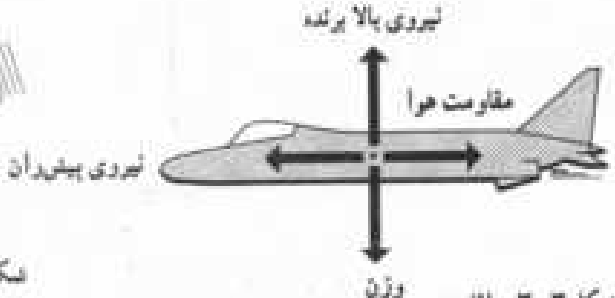
اگر جسمی در داخل گاز یا مایع حرکت کند بین شاره و جسم اصطکاک به‌وجود می‌آید. به‌عنوان مثال، وقتی اتومبیلی در بزرگ‌راهی در حال حرکت است حرکت آن با مقاومت هوا روبه‌رو می‌شود. به‌همین جهت امروزه بدنه‌ی اتومبیل‌ها را طوری می‌سازند که مقاومت هوا در مقابل حرکت به‌حداقل ممکن برسد. این نوع اصطکاک‌ها را اصطکاک شاره‌ای می‌گویند.

شکل ۳ـ۳ـ به حداقل رساندن مقاومت هوا

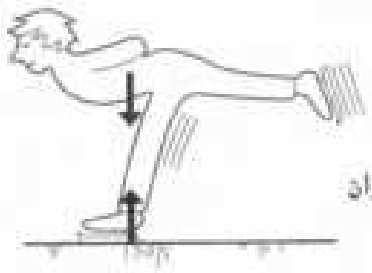
۳ـ۵ نیروهای متعادل[4]

ضمن وجود نیروی اصطکاک و نیروی گرانش، اجسام موجود برروی سطح‌زمین می‌توانند با سرعت ثابت حرکت کنند و یا در حال سکون باشند، در هر دو مورد، نیروهای مختلفی بر جسم اثر می‌گذارند، ولی همه‌ی نیروهای مؤثر بر جسم متعادل‌اند.

به‌عبارت دیگر این نیروها اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند و رفتار جسم چنان است که گویی هیچ نیرویی بر آن اثر نمی‌کند. مثلاً در سه شکل زیر، نیروهای مؤثر بر هواپیما، سنگ و اسکیت‌باز با هم به تعادل رسیده‌اند.



شکل ۳ـ۳ـ الف
تعادل نیروهای مؤثر سبب می‌شود تا هواپیما با سرعت ثابت حرکت کند.



شکل ۳ـ۳ـ ب
تعادل نیروهایی که بر اسکیت‌باز اثر می‌کنند. در این حالت اسکیت‌باز با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

شکل ۳ـ۳ـ پ
تعادل نیروهایی که بر سنگ اثر می‌کنند. در این حالت سنگ ساکن است.

۱ـ static friction ۲ـ dynamic friction ۳ـ Fluid friction ۴ـ Balanced forces

در شکل ۳ ـ۳ ـ الف، وزن هواپیما با نیروی بالابر مؤثر بر بال‌ها و نیروی مقاومت هوا با نیروی پیش‌ران خنثی شده است، درنتیجه هواپیما با سرعت ثابت روی خط راست حرکت می‌کند.

در شکل ۳ـ۳ـ ب، فرو رفتگی یا خمیدگی سطح یخ مشهود نیست ولی در اینجا نیز مثل شکل پ، عمل شده است. به‌عبارت دیگر وزن اسکیت‌باز با نیرویی که مولکول‌های یخ به‌سوی بالا اعمال می‌کنند خنثی می‌شود.

در شکل ۳ـ۳ـ پ، سطح میز در اثر نیروی وزن سنگ خمیده شده و به حالت تعادل قرار گرفته است. در این‌جا مولکول‌های قسمت خمیده‌ی میز مقاومت می‌کنند و می‌خواهند سطح میز را به‌حالت افقی بازگردانند، در اثر مقاومت این مولکول‌ها نیرویی رو به بالا، به سنگ وارد می‌شود که وزن سنگ را خنثی می‌کند و در نتیجه تعادل گفته شده را به وجود می‌آورد.

۶ـ۳ سرعت حد

فرض کنید چتربازی با چتر از هواپیما بیرون می‌پرد، پس از پریدن، سرعت او مرتباً زیاد می‌شود. با افزایش این سرعت، نیروی مقاومت هوا نیز افزایش پیدا می‌کند.

بالاخره، نیروی مقاومت هوا با نیروی وزن چترباز و وسایل او مساوی می‌شود، یعنی نیروی مقاومت هوا و نیروی وزن یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این حالت است که این سرعت ثابت را سرعت حد[1] می‌گویند.

در این‌جا این پرسش پیش می‌آید که، اگر مقاومت هوا، با وزن چترباز مساوی است، چرا چترباز ساکن نمی‌ماند؟ در پاسخ این پرسش باید گفت، چون چترباز در حال حرکت بوده است پس از متعادل شدن نیروهای مؤثر چترباز با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. در حقیقت ما از قانون اوّل نیوتون به این نتیجه می‌رسیم:

۷ـ۳ نیروهای نامتعادل[2]

اگر نیروهایی خارجی وارد بر یک جسم یکدیگر را خنثی نکنند جسم شتاب می‌گیرد. شکل ۴ـ۳ موشک کوچکی را نشان می‌دهد که جرم آن ۲۰۰ کیلوگرم است. موتور این موشک نیرویی برابر با ۳۰۰۰ نیوتون، و به سوی بالا، بر موشک وارد می‌کند که تقریباً ۲۰۰۰ نیوتون از این نیرو وزن موشک را خنثی می‌کند و ۱۰۰۰ نیوتون تقریبی بقیه‌ی موشک را به‌سوی بالا می‌راند. این نیرو برآیند نیروهای مؤثر بر موشک است.

اکنون برای محاسبه‌ی شتاب حاصل از برآیند نیروها رابطه‌ی زیر را می‌نویسیم:

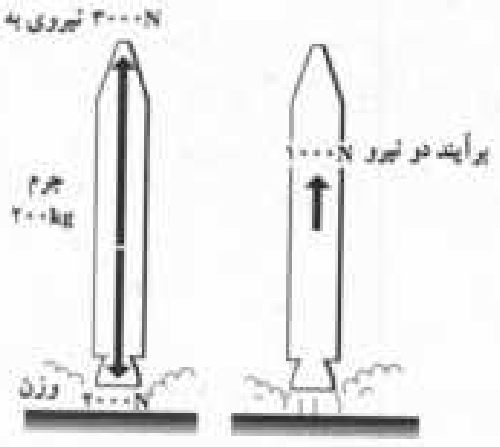
$$\text{نیرو} = \text{جرم} \times \text{شتاب}$$

$$F = ma$$

$$۱۰۰۰\,N = ۲۰۰\,kg \times a$$

$$a = \frac{۱۰۰۰}{۲۰۰} = ۵\,m/s^۲$$

درنتیجه موشک با شتاب $۵\,m/s^۲$ به سوی بالا رانده می‌شود.



شکل ۴ـ۳ـ دو نیروی مؤثر و برآیند آنها

۱ـ terminal velocity

۲ـ unbalanced forces

پرسش‌ها

۱ــ در چه مواردی نیروی اصطکاک مفید است؟

۲ــ اصطکاک ایستایی و اصطکاک لغزشی را شرح دهید.

۳ــ دو مثال درباره‌ی اصطکاک شاره‌ای بیان کنید.

۴ــ با استفاده از قانون اوّل نیوتون توضیح دهید که :

الف ــ چرا وقتی اتوبوسی با سرعت می‌پیچد شما مجبور می‌شوید خود را به یک طرف خم کنید؟

ب ــ آیا درست است که بگوییم وقتی اتوبوس سریع ترمز می‌کند، مسافران به طرف جلو پرتاب می‌شوند؟ چرا؟

۵ــ هواپیمایی با سرعت ۳۰۰ m/s در حال پرواز است. اگر برآیند نیروهای وارد بر هواپیما صفر شود، حرکت هواپیما چگونه خواهد بود؟

۶ــ گلوله‌ای با سرعت ثابت رو به پایین در داخل روغن درحال سقوط است. اسم این سرعت را بگویید. اگر روغن نیروی ۵ نیوتون بر گلوله وارد کند وزن گلوله چقدر است؟

۸ــ۳ حرکت دایره‌ای

مطلب را با دو پرسش آغاز می‌کنیم.

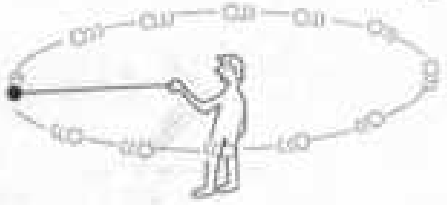
الف ــ در چه حرکتی بزرگی سرعت ثابت ولی جهت سرعت متغیر است؟

ب ــ در چه حرکتی، یک چیز با شتاب به‌طرف چیزی دیگر در حرکت می‌باشد ولی هرگز به آن نزدیک نمی‌شود؟

در پاسخ باید گفت وقتی جسمی برروی دایره‌ای می‌چرخد هر دو مورد مطرح شده در دو پرسش می‌تواند اتفاق بیفتد.

برای آن که سرعت تغییر کند، به‌عبارت دیگر برای آن که جسم در حال حرکت شتاب داشته باشد، لازم نیست که حتماً بزرگی سرعت آن کم یا زیاد شود، بلکه چون سرعت یک کمیّت جهت‌دار است، هر تغییری، چه در بزرگی و چه در جهت آن، تغییر سرعت محسوب می‌شود. به شکل ۵ــ۳ توجه کنید.

گلوله‌ای در یک سطح افقی برروی یک دایره، در حال چرخش است. با آن که بزرگی سرعت گلوله ثابت است ولی دارای شتاب است.



شکل ۵ــ۳ــ بزرگی سرعت گلوله ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند.

۹ــ۳ نیروی مرکزگرا

در شکل ۶ــ۳ گلوله‌ای نشان داده شده است که در یک صفحه‌ی افقی برروی مسیری به شکل دایره در حرکت است. به شکل توجه کنید. تا زمانی که ریسمانی به گلوله بسته است و گلوله

شکل ۶ــ۳ــ نیروی لازم برای نگه‌داشتن گلوله برروی دایره، به‌وسیله‌ی ریسمان تأمین می‌شود. پس از پاره شدن ریسمان گلوله برروی خط راست حرکت می‌کند.

را به‌طرف مرکز دایره می‌کشد، گلوله برروی محیط یک دایره، حرکت می‌کند، در لحظه‌ای که ریسمان پاره می‌شود یعنی در لحظه‌ای که نیرو به سوی مرکز دایره قطع می‌گردد، گلوله، مطابق پیش‌بینی قانون اوّل نیوتون، برروی خط راست با سرعت ثابت حرکت

می‌کند. توجه به این مطالب ضروری است که گلوله به طرف خارج پرتاب نمی‌شود، بلکه در همان جهتی به حرکت خود ادامه می‌دهد که در لحظه‌ی پاره شدن ریسمان در حرکت بوده است. به‌عبارت دیگر گلوله در راستای مماس بر دایره‌ی مسیر به حرکت خود ادامه می‌دهد. نیروی رو به مرکز دایره‌ی مسیر حرکت را نیروی مرکزگرا می‌نامند. نیروی مرکزگرا است که به گلوله‌ای به‌جرم m شتاب a می‌دهد، نظر به این که جهت نیروی F به سوی مرکز دایره است، جهت شتاب a نیز به سوی مرکز دایره خواهد بود.

(قبول این مطلب که گلوله با شتاب به‌طرف مرکز دایره حرکت می‌کند ولی به آن نزدیک نمی‌شود مشکل به نظر می‌رسد، باید گفت، گلوله نسبت به راستای مماس بر دایره با شتاب به طرف مرکز دایره حرکت می‌کند و به مرکز دایره نزدیک می‌شود.)

نیروی مرکزگرای لازم برای حرکت برروی مسیر دایره به‌عوامل متعددی بستگی دارد.

درصورت تأمین هر یک از موارد زیر : نیروی مرکزگرای لازم بزرگ‌تر می‌شود.

الف ـ جرم گلوله بزرگ‌تر شود.

ب ـ بزرگی سرعت گلوله بیش‌تر شود.

پ ـ شعاع دایره‌ی مسیر کوچک‌تر شود.

مردم معمولاً از نیرویی با نام نیروی «گریز از مرکز» صحبت می‌کنند، باید بدانیم جسمی که برروی مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند خودش هیچ نیرویی تولید نمی‌کند، بلکه فقط نیروی مرکزگرا است که آن را برروی مسیر دایره‌ای نگه می‌دارد و به محض قطع شدن این نیرو جسم برروی خط راست مماس بر دایره‌ی مسیر به حرکت خود ادامه می‌دهد.

۱۰ـ۳ تولید نیروی مرکزگرا

دانستیم که بدون وجود نیروی مرکزگرا، جسم نمی‌تواند برروی مسیری به شکل دایره حرکت کند. در مثال قبل ریسمان گلوله را به سوی مرکز دایره می‌کشید. همچنین وقتی که یک اتومبیل پیچ جاده‌ای را طی می‌کند، در حقیقت دارد یک مسیر دایره‌ای را طی می‌کند. و نیروی مرکزگرای لازم برای این حرکت به‌وسیله‌ی نیروی اصطکاک موجود بین لاستیک‌ها و جاده تأمین می‌شود.

شکل ۷ـ۳ـ نیروی مرکزی لازم به‌وسیله‌ی اصطکاک تأمین می‌شود.

۱۱ـ۳ حرکت ماهواره‌ها

فرض کنید ماهواره‌ای به گرد زمین در حرکت است. مسیر حرکت ماهواره یک دایره است، نیروی مرکزگرای لازم برای حرکت ماهواره نیرویی است که با آن نیرو، زمین ماهواره را به‌طرف خود می‌کشد. این نیرو همان نیروی وزن ماهواره است.

هرچه شعاع مدار حرکت ماهواره بزرگ‌تر شود نیروی

گرانشی بین ماهواره و زمین کم‌تر می‌شود، درنتیجه سرعت گردش ماهواره، در مدار خود، نیز کم‌تر خواهد شد.

جرم یک ماهواره تأثیری در سرعت آن برای ماندن در مدار دایره‌ای ندارد. به‌عنوان مثال اگر جرم ماهواره دو برابر شود، نیروی مرکزگرا نیز دو برابر می‌شود. با دو برابر شدن جرم ماهواره نیروی گرانش نیز خودبه‌خود دو برابر می‌گردد.

پرسش‌ها

۱ــ دو روش برای تغییر سرعت بیان کنید.

۲ــ جسمی به‌طور آزاد در روی خط راستی در حرکت است. اگر نیرویی : (الف)، در جهت حرکت جسم، و (ب)، عمود بر راستای حرکت جسم اثر کند، چه اتفاقی می‌افتد؟

۳ــ وقتی اتومبیلی در پیچ جاده‌ای حرکت می‌کند، نیروی مرکزگرای لازم چگونه تأمین می‌شود؟ در حالت‌های زیر چه تغییری در نیروی مرکزگرای این اتومبیل ایجاد می‌شود؟

الف ــ جرم اتومبیل کم شود.

ب ــ اتومبیل با سرعت کم‌تری حرکت کند.

پ ــ اتومبیل به یک پیچ با شعاع کم‌تر برسد.

۴ــ ماهواره‌ای در یک مدار دایره‌ای به دور زمین می‌چرخد :

الف ــ نیروهای مؤثر بر ماهواره کدام‌اند؟

ب ــ جرم ماهواره چه اثری در سرعت لازم برای ماندن ماهواره در یک مدار دایره‌ای ایجاد می‌کند؟

پ ــ اگر ماهواره به مدار بالاتری برود، سرعت آن نسبت به قبل کم‌تر می‌شود یا بیش‌تر؟

ت ــ با بالاتر رفتن ماهواره نیروی مرکزگرا بیش‌تر می‌شود یا کم‌تر؟

۱۲ــ۳ اندازه‌ی حرکت

نیوتون مفهوم اندازه‌ی حرکت (تکانه) را دقیقاً تعریف کرد و رابطه‌ی مهمّ بین اندازه‌ی حرکت و نیرو را به‌دست آورد.

اندازه‌ی حرکت (p) جسمی به جرم m که با سرعت v در حرکت است به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

سرعت × جرم = اندازه‌ی حرکت

$$p = m \times v$$

اگر جرم جسم برحسب کیلوگرم و سرعت آن برحسب متر بر ثانیه باشد، اندازه‌ی حرکت جسم برحسب کیلوگرم متر بر ثانیه ($\frac{kgm}{s}$) خواهد بود. اندازه‌ی حرکت، یک کمیت برداری است و چنان‌که ملاحظه می‌کنید با نماد p نشان داده می‌شود.

۱۳ــ۳ نیرو و اندازه‌ی حرکت

بین نیرو و اندازه‌ی حرکت رابطه‌ی مهمی وجود دارد. فرض کنید سرعت اوّلیه‌ی یک سفینه v_0 است با روشن شدن موتور نیروی F به سفینه وارد می‌شود و سرعت سفینه را از v_0 به v می‌رساند.

بنابراین می‌توان نوشت :

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

$$F = ma$$

$$F = m\frac{v - v_0}{t}$$

$$F = \frac{mv - mv_0}{t} = \frac{\text{تغییر اندازه‌ی حرکت}}{t} = \frac{p - p_0}{t}$$

در این رابطه $p_0 = mv_0$ اندازه‌ی حرکت اولیه‌ی سفینه و $p = mv$ اندازه‌ی حرکت نهایی آن پس از t ثانیه است. با استفاده از رابطه‌ی فوق، رابطه‌ی بین نیرو و اندازه‌ی حرکت به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

آهنگ تغییر اندازه‌ی حرکت = نیرو

درنتیجه اگر مثلاً نیروی یک نیوتون بر جسمی وارد شود، اندازه‌ی حرکت آن در یک ثانیه به‌اندازه‌ی $\frac{1\,kgm}{s}$ تغییر می‌کند.

مثال: سفینه‌ای به جرم ۱۰۰۰kg در فضا در حرکت است، در اثر وارد شدن نیروی F بر آن، سرعت سفینه در مدّت ده ثانیه از ۲۰m/s به ۵۰m/s می‌رسد. بزرگی نیروی F را به‌دست آورید.

حل:

$$F = \frac{p - p_0}{t}$$

$$p_0 = mv_0 = 1000 \times 20 = 20000 \frac{kgm}{s}$$

$$p = mv = 1000 \times 50 = 50000 \frac{kgm}{s}$$

$$t = 10s$$

$$F = \frac{50000 - 20000}{10} = \frac{30000}{10} = 3000N$$

نتیجه‌می‌گیریم که، در مدّت ده ثانیه نیروی ۳۰۰۰ نیوتونی بر سفینه وارد شده است.

توجه داشته باشید که، در این مسئله فرض بر این است که در مدّت ده ثانیه بزرگی نیرو ثابت بوده و کم یا زیاد نشده است.

۱۴ـ۳ قانون دوّم نیوتون

رابطه‌ی بین نیرو و اندازه‌ی حرکت با استفاده از قانون دوّم نیوتون بیان می‌شود. این قانون می‌گوید: *آهنگ تغییر اندازه‌ی حرکت یک جسم با نیروی مؤثر بر آن نسبت مستقیم دارد و جهت نیرو با جهت تغییر اندازه‌ی حرکت یکی است.*

اگر بزرگی نیروی وارد بر جسم را ثابت فرض کنیم رابطه به این صورت نوشته می‌شود:

$$\text{نیرو} = \frac{\text{تغییر اندازه‌ی حرکت}}{\text{مدّت اثر نیرو}} \rightarrow F = \frac{\Delta p}{t}$$

قبلاً دیدیم که این رابطه را به این صورت نیز می‌نویسند:

$$F\,(\text{نیرو}) = m\,(\text{جرم}) \times a\,(\text{شتاب}) = ma$$

بنابراین می‌توان گفت:

۱ـ یک نیوتون نیرویی است که به جرم 1kg شتاب $1m/s^2$ می‌دهد.

۲ـ یک نیوتون نیرویی است که باعث می‌شود اندازه‌ی حرکت یک جسم در یک ثانیه، به اندازه‌ی 1kg m/s افزایش یابد.

دانشمندان متوجه شده‌اند که قانون دوّم نیوتون برای بیش‌تر اجسام در حال حرکت درست است. انیشتین نشان داد که معادله‌ی $F = ma$ برای اجسامی که با سرعتی نزدیک به سرعت نور در حرکت می‌باشند درست نیست.

باید بدانیم سرعت اجسام معمولی در روی زمین بسیار کم است، سرعت سریع‌ترین موشک از یک ده‌هزارم سرعت نور کمتر است.

پرسش‌ها

۱ـ اندازه‌ی حرکت یک جسم چگونه به‌دست می‌آید؟ یکای اندازه‌ی حرکت با چه یکاهایی بیان می‌شود؟

۲ـ قانون دوّم نیوتون را با دو روش متفاوت بنویسید.

۳ـ جرم جسمی ۱۲ کیلوگرم است. این جسم با سرعت ثابت 4m/s در حرکت می‌باشد. در اثر اعمال نیرویی در مدّت ۳ ثانیه، سرعت جسم به 6m/s می‌رسد.

الف ـ بزرگی نیرویی که در این مدّت به جسم اثر کرده است چند نیوتون می‌باشد؟

ب ـ شتاب به‌وجود آمده در این جسم چقدر بوده است؟

۴ـ جرم جسمی 20kg است. نیرویی به بزرگی ۱۰۰ نیوتون به مدّت 5s به این جسم اثر می‌کند.

الف ـ اندازه‌ی حرکت این جسم در یک ثانیه چه مقدار تغییر می‌کند؟

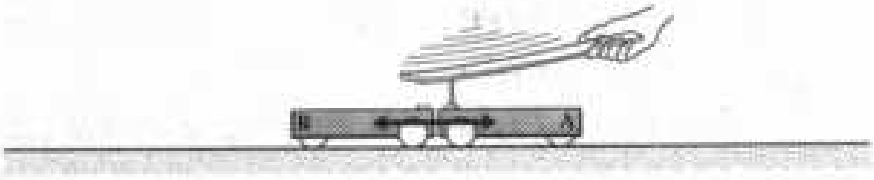
ب ـ تغییر اندازه‌ی حرکت جسم در مدّت پنج ثانیه چقدر است؟
پ ـ سرعت جسم در مدّت پنج ثانیه چقدر تغییر می‌کند؟

۱۵ـ۳ کنش و واکنش و قانون سوّم نیوتون

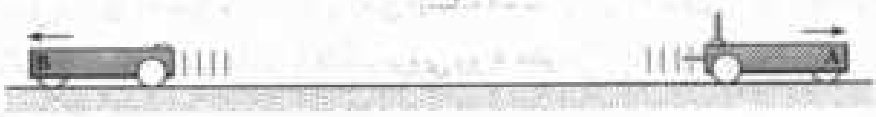
نیرو موقعی به‌وجود می‌آید که دو جسم بر یکدیگر اثر کنند. پس وقتی دو جسم وجود دارد دو نیرو نیز موجود است اصولاً یک نیرو به تنهایی نمی‌تواند وجود داشته باشد.

در شکل ۸ـ۳، دو ارابه در روی یک میز افقی قرار دارند. یکی از این ارابه‌ها فنر ضامن‌دار متراکمی دارد که اگر ضربه‌ی کوچکی به آن وارد شود، فنر را آزاد می‌کند و سبب می‌شود که ارابه‌ها در دو جهت مخالف حرکت کنند.

شکل ۸ ـ ۳ـ ارابه‌ی ۸ دارای یک فنر با ضامن است



شکل ۹ـ۳ـ ارابه‌ها



شکل ۱۰ـ۳ ـ وقتی ضامن فنر آزاد می‌شود ارابه‌ها به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند و از هم دور می‌شوند. این عمل نمونه‌ای از کنش و واکنش است.

پس از آزاد شدن فنر، دو نیرو در دو سوی مخالف وجود دارد. هریک از نیروها به یکی از ارابه‌ها اثر می‌کند.

اثری که شرح دادیم منحصر به ارابه‌ها نیست. نیوتون نشان داده است که به‌طور کلی وقتی دو جسم یکدیگر را می‌ربایند یا می‌رانند دو نیرو وجود دارد. هریک از نیروها به یکی از دو جسم اثر می‌کند! اصولاً هیچ نیرویی به‌وسیله‌ی یک جسم به‌وجود نمی‌آید این موضوع تحت عنوان قانون سوّم نیوتون درباره‌ی حرکت به‌این صورت بیان شده است:

اگر جسم A نیرویی بر جسم B وارد کند، جسم B نیز نیرویی هم اندازه و مخالف به جسم A وارد می‌کند. این قانون را به‌صورت زیر نیز بیان می‌کنند:

برای هرکنشی یک واکنش هم اندازه و مخالف وجود دارد.

معمولاً به اشتباه، این تصور وجود دارد که این دو نیروی مساوی و مخالف هم یکدیگر را خنثی می‌کنند، در حالی که این دو نیرو به دو جسم متفاوت وارد می‌شوند و نمی‌توانند یکدیگر را خنثی کنند.

نیرویی که فضانورد به زمین وارد می‌کند با نیرویی که زمین به فضانورد وارد می‌کند برابر است.

شکل ۱۱ـ۳

نیرویی که دونده بر زمین وارد می‌کند با نیرویی که زمین بر دونده وارد می‌کند برابر است.

شکل ۱۲ـ۳

نیرویی که تپانچه به گلوله وارد می‌کند با نیرویی که گلوله بر تپانچه وارد می‌کند برابر است.

شکل ۱۳ـ۳

در شکل‌های بالا چند مثال کنش و واکنش را ارائه کرده‌ایم.

در شکل ۱۱ـ۳، زمین شخص را به پایین و شخص زمین را به سوی خود می‌کشد.

در شکل ۱۲ـ۳، شخص زمین را به عقب می‌راند، زمین شخص را جلو می‌راند.

در شکل ۱۳ـ۳، تپانچه گلوله را جلو می‌راند و گلوله تپانچه را عقب می‌زند.

شما وقتی به کسی یا چیزی نیرو وارد می‌کنید (نیروی کنش) آن شخص یا آن چیز نیز درست همان‌اندازه، نیرو را در سوی مخالف به شما وارد می‌کند (نیروی واکنش). با این حال اصولاً مهم نیست که کدام نیرو را نیروی کنش و کدام نیرو را نیروی واکنش بنامیم، مهم این است که بدانیم که هیچ یک از آن‌ها بدون دیگری وجود ندارد.

پرسش‌ها

۱ـ شخصی به وزن ۵۰۰ نیوتون در روی زمین ایستاده است. زمین چه نیرویی به این شخص وارد می‌کند؟

۲ـ می‌دانید که در هنگام تیراندازی با تفنگ نیرویی رو به جلو بر گلوله وارد می‌شود و گلوله را شلیک می‌کند. علت عقب‌زدن تفنگ چیست؟

۳ـ دونده‌ای را در نظر بگیرید که روی زمین می‌دود. نیروهای کنش و واکنش بین زمین و دونده را رسم و اثر هریک از آن‌ها را بیان کنید.

۱۶ـ۳ پایستاری اندازه‌ی حرکت[1]

دیدیم که معادله‌ی تغییر اندازه‌ی حرکت و نیروی مؤثر را به‌صورت زیر می‌توان نوشت.

مدّت اثر × نیرو = تغییر اندازه‌ی حرکت

اکنون اگر این معادله را با قانون سوّم نیوتون ترکیب کنیم قانون مهمی به‌دست می‌آید.

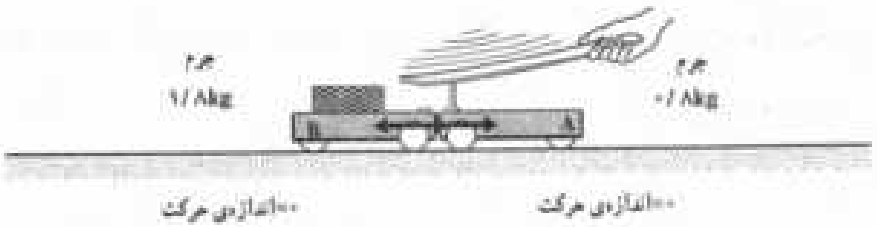
دو ارابه در شکل ۱۴ـ۳ و ۱۵ـ۳ نشان داده شده است این دو ارابه پس از آزاد شدن ضامن فنر از یکدیگر دور می‌شوند، این آزمایش برای بررسی اصلی انجام می‌شود که بر عمل رانده شدن جسمی از جسم دیگر، و همچنین بر یک عمل انفجار، حاکم است.

در این آزمایش جرم یکی از ارابه‌ها بزرگ‌تر است. چون جرم ارابه‌ها مساوی نیست، پس از آزاد شدن فنر، سرعت ارابه‌ی سبک‌تر بیش‌تر است.

در شکل۱۵ـ۳، جرم و سرعت هر یک از ارابه‌ها پس از

---

1. conservation of momentum



شکل ۱۴ـ۳

شکل ۱۵ـ۳

آزاد شدن فنر نشان داده شده است. بزرگی نیرویی که به هریک از ارابه‌ها وارد می‌شود همچنین مدّت اثر نیروی مؤثر بر ارابه‌ها یکسان است بنابراین می‌توان گفت که :

تغییر اندازه‌ی حرکت = مدّت اثر نیرو × نیرو

تغییر اندازه‌ی حرکت هر دو ارابه با جرم‌های متفاوت یا یکدیگر برابر است در نتیجه می‌توان نوشت :

تغییر اندازه‌ی حرکت ارابه‌ای که به طرف راست می‌رود

= تغییر اندازه‌ی حرکت ارابه‌ای که به طرف چپ می‌رود.

در شکلی که نشان داده شده است تغییر اندازه‌ی حرکت ارابه‌ای که به سمت راست می‌رود برابر :

$(۰/۸kg)(۰/۹m/s)$

یعنی $۰/۷۲ kgm/s$ می باشد، همچنین تغییر اندازه‌ی حرکت ارابه‌ای که به سمت چپ می‌رود برابر :

$(۱/۸kg)(-۰/۴m/s)$ یعنی $-۰/۷۲ kgm/s$ است.

علت منفی بودن تغییر اندازه‌ی حرکت ارابه‌ی دوّم این است که سرعت به طرف راست را مثبت و سرعت به طرف چپ را منفی گرفته‌ایم.

توجه کنید اگر تغییر اندازه‌ی حرکت‌ها را با هم جمع کنیم حاصل صفر خواهد بود.

باز هم توجه کنید که قبل از آزاد شدن فنر هر دو ارابه ساکن بودند یعنی سرعت آنها صفر و اندازه‌ی حرکت کل دو ارابه صفر بوده است.

در نهایت به این نتیجه می‌رسیم که اندازه‌ی حرکت دو سیستم قبل از آزاد شدن فنر و پس از آزاد شدن فنر با هم برابر می‌باشند.

به‌طور کلی پایستاری اندازه‌ی حرکت به این صورت بیان می‌شود که :

وقتی دو یا چند جسم بر روی هم اثر می‌گذارند، اندازه‌ی حرکت کل آن‌ها ثابت می‌ماند به‌شرطی که نیروی خارجی بر آن‌ها اثر نکند.

۱۷ـ۳ برخوردها

قبلاً درباره‌ی پایستاری اندازه‌ی حرکت و دو جسمی که از هم دور می‌شوند، صحبت کردیم. در این‌جا باید بگوییم که پایستاری اندازه‌ی حرکت درباره‌ی دو جسمی که با یکدیگر برخورد می‌کنند نیز درست است.

در شکل ۱۶ـ۳ دو ارابه، با جرم و سرعت نشان داده شده، به‌سوی هم در حرکت‌اند، این دو ارابه پس از برخورد به‌یکدیگر متصل می‌شوند، علامت سرعت به سمت راست را مثبت

می‌گیریم و سرعت ارابه‌های به‌هم چسبیده را به‌دست می‌آوریم:

اندازه‌ی حرکت ارابه‌ی A $= 1kg \times 2m/s = 2kg\,m/s$

اندازه‌ی حرکت ارابه‌ی B $= 4kg \times (-3m/s) = -12kg\,m/s$

اندازه‌ی حرکت کل دو ارابه‌ی A و B قبل از برخورد

$= 2kgm/s - 12kg\,m/s = -10kg\,m/s$

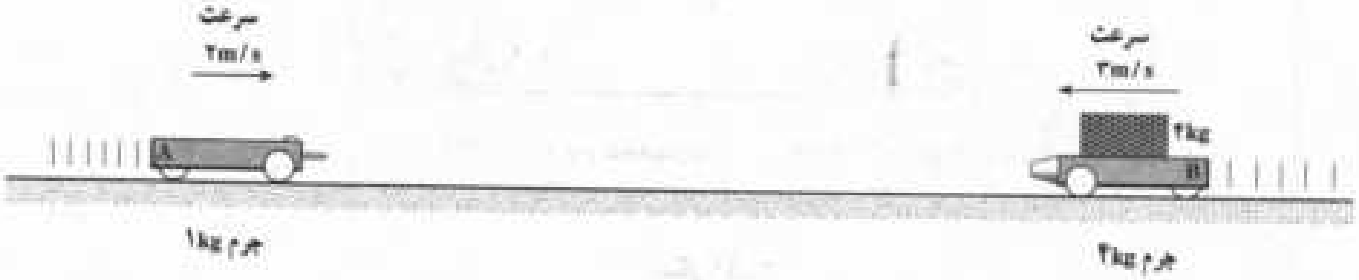
با فرض این که نیروی خارجی بر ارابه‌ها اثر نمی‌کند، اندازه‌ی حرکت پس از برخورد نیز $-10kgm/s$ می‌باشد.

(اندازه‌ی حرکت پس از برخورد = (جرم ارابه‌ی A + جرم ارابه‌ی B) × (سرعت دو ارابه‌ی چسبیده به هم)

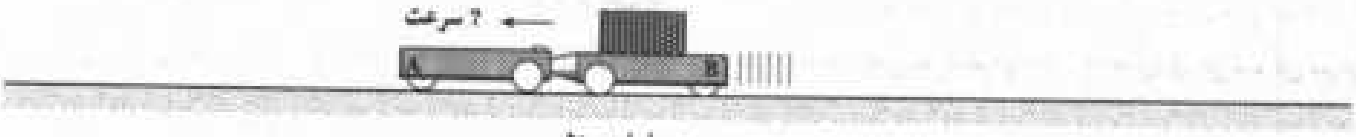
$-10kgm/s = (1kg + 4kg) \times v$

$-2m/s = v$

نتیجه این‌که پس از برخورد، ارابه‌های چسبیده به هم با سرعت $2m/s$ به طرف چپ حرکت خواهند کرد.



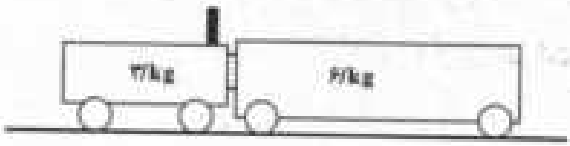
شکل ۱۶ـ۳



شکل ۱۷ـ۳ـ اندازه‌ی حرکت ارابه‌ها در مدّت حرکت پایسته می‌ماند.

پرسش‌ها

۱ـ دو ارابه با جرم‌های 3kg و 6kg در کنار هم قرار دارند و بدنه‌ی آن‌ها با هم در تماس است. وقتی ضامن فنریکی از ارابه‌ها آزاد می‌شود دو ارابه از هم دور می‌شوند اگر سرعت ارابه‌ی سبک‌تر $6\,m/s$ باشد سرعت ارابه‌ی بزرگ‌تر چقدر است؟



شکل ۱۸ـ۳

۲ـ جسمی به جرم 15kg با سرعت $5\,m/s$ به‌طرف راست در حرکت است. این جسم با جسمی به جرم 4kg که با سرعت $5\,m/s$ به‌طرف چپ در حرکت می‌باشد برخورد می‌کند.

الف ـ اندازه‌ی حرکت هر یک از دو جسم را به‌دست آورید.

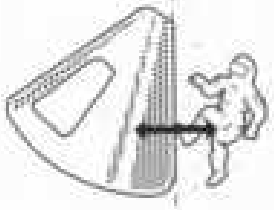
ب ـ اگر این دو جسم پس از برخورد با هم، به یکدیگر بچسبند سرعت آن‌ها چه‌قدر خواهد بود؟

۳ـ جسمی به جرم $10kg$ با جسم ساکنی به جرم 5kg برخورد می‌کند. با فرض این که این دو جسم پس از برخورد با هم، به یکدیگر بچسبند و با سرعت $4\,m/s$ حرکت کنند، سرعت اولیه‌ی جسم در حال حرکت را به‌دست آورید.

۱۸ــ۳ موشک‌ها و جت‌ها

در فضای خالی از ماده، یعنی در جایی که هیچ چیز وجود ندارد تا واکنش آن در برابر موشک، موشک را به جلو براند، یک موشک چگونه حرکت می‌کند؟ پاسخ این پرسش را آزمایش ارابه‌ها به ما می‌دهد.

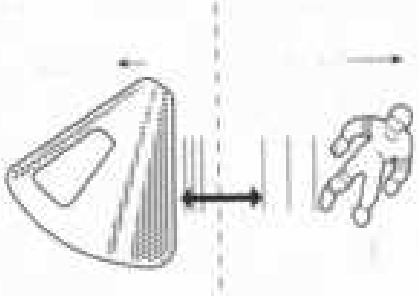
در شکل ۱۹ــ۳ فضانوردی نشان داده شده است که در فضا شناور است، وقتی که فضانورد نیرویی به سفینه وارد می‌کند سفینه نیز نیرویی به فضانورد وارد می‌سازد.



شکل ۱۹ــ۳

پس از وارد شدن این نیروها به یکدیگر، سفینه به طرف چپ و فضانورد به‌طرف راست می‌رود.

در این فرآیند، اندازه‌ی حرکت سفینه با اندازه‌ی حرکت فضانورد مساوی است. حال اگر فضانورد بخواهد با سرعت بیش‌تری حرکت کند باید نیروی بزرگ‌تری به سفینه وارد کند. در این صورت هم‌اندازه‌ی حرکت سفینه و هم اندازه‌ی حرکت فضانورد بزرگ‌تر خواهد شد.



شکل ۲۰ــ۳ــ برای این‌که فضانورد حرکت کند، باید چیزی به او نیرو وارد کند.

۱۹ــ۳ موتور موشک

در فضای خالی از ماده، وقتی موتور موشک روشن می‌شود، مقدار زیادی گاز با سرعت زیاد از آن خارج می‌گردد. همین خارج شدن گاز با سرعت زیاد است که موشک را به حرکت درمی‌آورد. برای حرکت در خارج از جوّ، موشک‌ها مخازن هیدروژن و اکسیژن با خود حمل می‌کنند. هیدروژن به شدت با اکسیژن می‌سوزد و گاز حاصل به‌سرعت منبسط می‌شود، این انبساط باعث می‌شود تا گازهای تولید شده با سرعت از عقب موشک خارج گردد وقتی که گاز با اندازه‌ی حرکت کافی به عقب رانده می‌شود موشک نیز با همان اندازه‌ی حرکت به سمت جلو می‌رود.

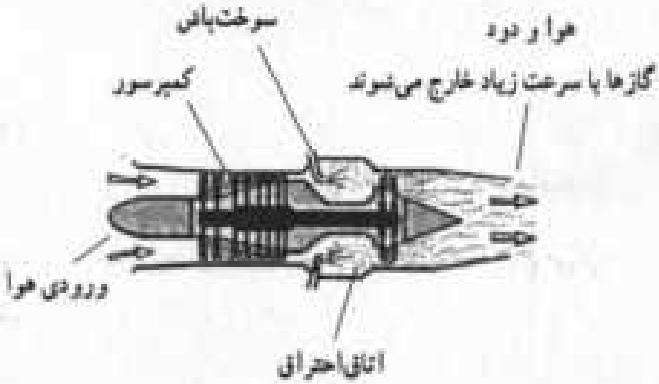
شکل ۲۱ــ۳ــ در اثر خروج گاز موشک به‌جلو رانده می‌شود.

۲۰ــ۳ موتور جت

از موتور جت هم، مانند موتور موشک‌ها، مقدار زیادی گاز خارج می‌شود در خارج شدن گاز از انتهای موتور یک نیروی رو به جلو ایجاد می‌گردد که موشک را به حرکت درمی‌آورد. باید توجه داشت که موتور جت در فضای خالی کار نمی‌کند زیرا موتور

جت به هوا نیاز دارد سوخت موتور جت پس از ترکیب با اکسیژن هوا می‌سوزد و گاز لازم برای خروج از موتور را تأمین می‌کند.

هوایی که به‌وسیله‌ی موتور جت مصرف می‌شود بسیار زیاد است، اگر جرم هوای یک اتاق نشیمن را در حدود ۸۰kg درنظر بگیریم، یک موتور جت بزرگ در هر ثانیه سه‌برابر این مقدار هوا مصرف می‌کند. کمپرسور موتور جت مانند تعدادی بادزن بزرگ عمل می‌کند. به‌این ترتیب که هوا را از جلو می‌مکد و با فشار زیاد به‌اتاقک احتراق می‌فرستد، در اتاقک احتراق هوای فشرده با سوخت موتور می‌سوزد و گاز تولید می‌کند. این گاز در یک لحظه منبسط شده و با سرعت به بیرون رانده می‌شود که در اثر آن بر موتور جت نیرویی وارد می‌شود که آن را به پیش می‌راند.

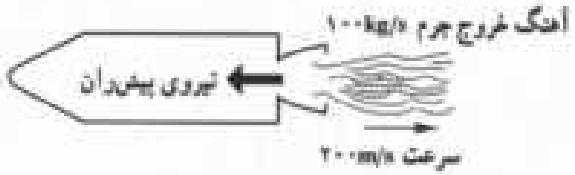


شکل ۲۲ـ۳ـ در موتور جت از واکنش خروج گازها استفاده می‌شود. در این موتورها برای سوزاندن سوخت هوا لازم است.

۲۱ـ۳ نیروی پیش‌ران

طبق قانون سوم نیوتون، نیروی پیش ران موتور، با نیروی خروج گازها از دهانه‌ی خروجی موشک‌ها و جت‌ها، برابر است، و طبق قانون دوم نیوتون، این نیرو در هر ثانیه با تغییر اندازه‌ی حرکت گاز مساوی است.

مثال: مطابق شکل ۲۳ـ۳ موشک، گاز محترقه را با آهنگ ۱۰۰kg/s به خارج می‌راند، سرعت خروج گاز ۲۰۰m/s است، نیروی پیش‌ران موشک را تعیین کنید.



شکل ۲۳ـ۳

حل: در هر ثانیه سرعت ۱۰۰kg گاز از صفر به ۲۰۰m/s می‌رسد.

$$\text{نیروی پیش‌ران} = \frac{\text{تغییر اندازه‌ی حرکت}}{\text{مدت تغییر}}$$

$$F = \frac{mv - mv_0}{t}$$

$$F = \frac{(100 \times 200) - (100 \times 0)}{1}$$

$$F = 20000\,N$$

طبق قانون سوّم نیوتون، این نیرو با نیروی پیش‌رانی که بر موشک وارد می‌شود مساوی است.

پرسش‌ها

۱ـ تفاوت موتور جت با موتور موشک چیست؟

۲ـ از دهانه‌ی خروجی یک موتور جت در هر ثانیه 5kg گاز با سرعت ۱۵۰m/s خارج می‌شود. نیروی پیش‌ران وارد بر آن را تعیین کنید.

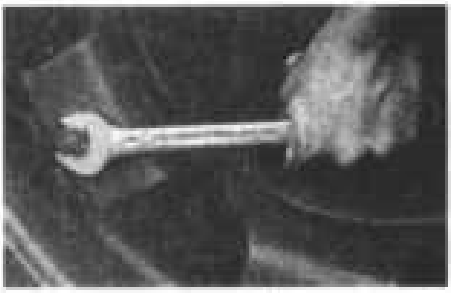
۳ـ نیروی پیش‌ران یک موشک ۱۶۰۰۰N است اگر آهنگ خروج گاز ۸۰kg/s باشد، سرعت خروج گاز چقدر است؟

۴ـ از موشکی که در راستای قائم در حرکت است در هر ثانیه 25kg گاز با سرعت ۱۰۰m/s خارج می‌شود. نیروی رو به بالایی که بر موشک وارد می‌شود چقدر است؟

فصل ۴

گشتاور نیرو، تعادل اجسام

وقتی نیرو به یک جسم وارد می‌شود، جسم ممکن است در اثر این نیرو بچرخد یا نچرخد. این چرخیدن یا نچرخیدن به بزرگی نیرو، جهت نیرو و نقطه‌ی اثر نیروی وارد شده بر جسم بستگی دارد. دری را نیم باز کنید، حالا با قرار دادن انگشت دستتان بر روی نقاط مختلف درب، سعی کنید درب را بازتر کنید. توجه کنید، انگشت شما در کجا قرار گیرد، درب راحت باز می‌شود، چرا؟



شکل ۱ـ۴ـ برای آن‌که مهره راحت‌تر باز شود از آچار بلندتری استفاده می‌کنیم.

۱ـ۴ گشتاور نیرو

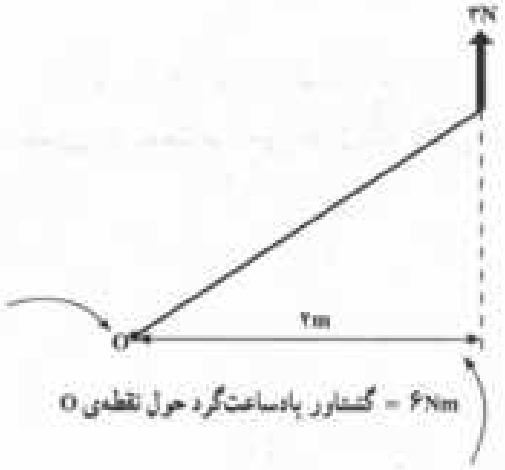
یک مهره به‌وسیله‌ی انگشتان دست باز نمی‌شود. برای باز کردن مهره مطابق شکل از آچار استفاده می‌شود. اگر نیرویی که بر آچار وارد می‌شود بزرگ‌تر شود و محل اثر نیرو از مهره دور گردد مهره سریع‌تر باز می‌شود. به عبارت دیگر هر چه نیرو بزرگ‌تر و نقطه‌ی اثر آن دورتر باشد، اثر چرخشی نیرو بیش‌تر است.

گشتاور نیرو، معیاری برای اثر چرخشی نیرو حول یک نقطه‌ی معین است این کمیت به این صورت تعریف می‌شود.

(m) فاصله‌ی عمودی نیرو تا نقطه‌ی مورد نظر × (N) نیرو = گشتاور نیرو حول یک نقطه

اگر نیرو را برحسب نیوتون (N) و فاصله را برحسب متر (m) انتخاب کنیم گشتاور نیرو برحسب نیوتون در متر نیوتون متر (Nm) خواهد بود.

در شکل ۲ـ۴ گشتاور نیرو حول نقطه‌ی O $(۳N)(۲m) = ۶Nm$ است. در شکل ۳ـ۴، گشتاور نیرو حول نقطه‌ی O، $(۳N)(۱m+۱m) = ۶Nm$ و گشتاور همان نیرو حول نقطه‌ی P برابر با $(۳N)(۱m) = ۳Nm$ و گشتاور همان نیرو حول نقطه‌ی Q، $[(۳N)(۰) = ۰]$ صفر است. توجه کنید که نیرو بر نقطه‌ی Q اثر می‌کند، بنابراین فاصله‌ی عمودی نقطه‌ی Q از نیرو صفر است، در نتیجه هیچ چرخشی ایجاد نمی‌شود.



شکل ۲ـ۴

شکل ۳ـ۴ ـ ۶Nm = گشتاور پادساعت‌گرد حول نقطه‌ی O

گشتاور نیرو به بزرگی نیرو و فاصله‌ی راستای نیرو تا نقطه‌ی مورد نظر بستگی دارد.

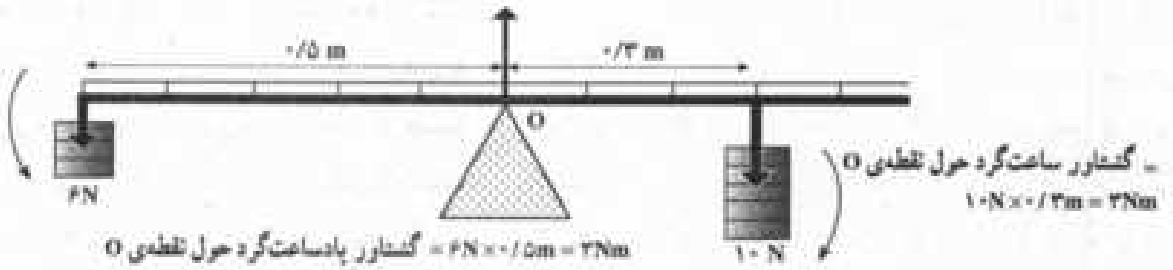
گشتاور اعمال شده به یک جسم، ممکن است جسم را در جهت ساعت‌گرد یا پاد ساعت‌گرد بچرخاند. اگر گشتاور ساعت‌گرد

را با علامت منفی نشان دهیم، علامت گشتاور پاد ساعت‌گرد مثبت خواهد بود.

۲ـ۴ اصل گشتاورها

در شکل ۲ـ۴ میله‌ی سبکی که از جرم آن صرف‌نظر می‌شود. نشان داده شده است، میله بر نقطه‌ی O تکیه دارد و می‌تواند حول نقطه‌ی O بچرخد.

با آویختن جرم‌هایی مشخص به نقاط مختلف میله، نیروهایی را بر آن اعمال می‌کنیم. نقطه‌ی آویز را طوری انتخاب می‌کنیم که میله به حالت افقی قرار گیرد.

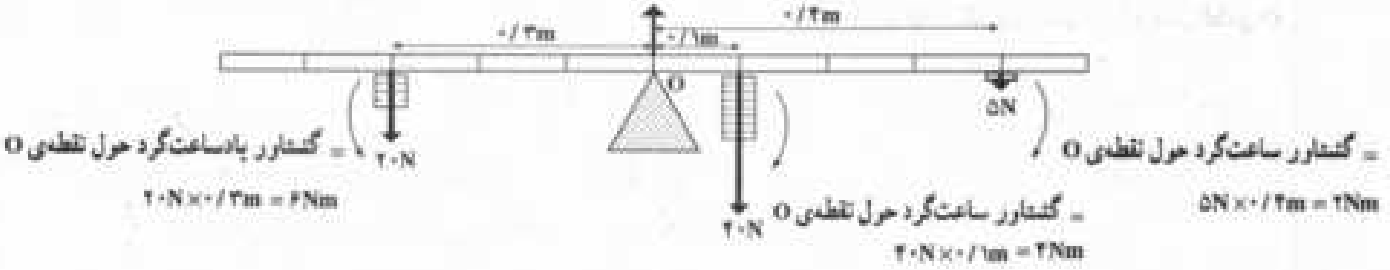


شکل ۲ـ۴ـ مساوی بودن گشتاور ساعت‌گرد با گشتاور پادساعت‌گرد، یعنی این‌که میله در حال تعادل است.

توجه کنید در حالت تعادل گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی O با گشتاور پاد ساعت‌گرد حول همان نقطه خنثی شده است. گشتاور نیرویی که از نقطه‌ی O بر میله وارد می‌شود صفر است زیرا که فاصله‌ی این نیرو از نقطه‌ی O صفر است.

در شکل ۵ـ۴ موضوع کمی پیچیده‌تر است.

در این شکل نیز نقطه‌ی اثر نیروها طوری انتخاب شده‌اند که میله در حال تعادل قرار دارد. گشتاور هر یک از نیروها در شکل نشان داده شده است.



شکل ۵ـ۴ـ مساوی بودن گشتاورهای ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد، یعنی این‌که میله در حال تعادل است.

توجه کنید، گشتاور دو نیروی ۵ نیوتون و ۲۰ نیوتون ساعت‌گرد و گشتاور نیروی ۲۰ نیوتون پاد ساعت‌گرد و گشتاور نیروی وارد بر تکیه‌گاه صفر است.

با جمع کردن گشتاورهای ساعت‌گرد معلوم می‌شود که گشتاورهای ساعت‌گرد و پاد ساعت‌گرد با هم مساوی است. با توجه به این دو شکل و همه‌ی مثال‌های ممکن دیگر اصل گشتاورها بیان شده است.

طبق اصل گشتاورها، ***اگر جسمی در حال تعادل باشد، حول هر نقطه‌ی دلخواه، مجموع گشتاورهای ساعت‌گرد، با مجموع گشتاورهای پاد ساعت‌گرد، مساوی است.***

۳ـ۴ شرایط تعادل

برای این‌که یک جسم در حالت تعادل باشد دو شرط زیر لازم است:

۱ـ مجموع نیروهایی که در یک جهت بر جسم اثر می‌کنند با مجموع نیروهایی که در خلاف جهت قبلی اثر می‌کنند مساوی باشد، به عبارت دیگر (برآیند نیروها صفر باشد).

۲ـ مجموع گشتاورهای ساعت‌گرد با مجموع گشتاورهای پاد ساعت‌گرد مساوی باشد (اثر گشتاورها صفر باشد).

شرط ۱: در شکل ۵ـ۴ نیروهای ۵، ۴۰ و ۲۰ نیوتون به‌سوی پایین بر میله وارد می‌شوند، نیرویی که به سوی بالا بر میله وارد می‌شود نیرویی است که تکیه‌گاه بر میله وارد می‌کند. این نیرو باید مجموع نیروهای به سوی پایین را خنثی کند. بنابراین تکیه‌گاه، نیروی ۶۵ نیوتون و به سوی بالا بر میله وارد می‌کند.

شرط ۲: طبق شرط دوم تعادل، بایستی گشتاورها حول هر نقطه‌ی دل‌خواه اثر یکدیگر را خنثی کنند. در شکل ۵ـ۴ گشتاورها نسبت به تکیه‌گاه تعیین شده است.

در شکل ۵ـ۴ گشتاورهای ساعت‌گرد ۶Nm و گشتاور پادساعت‌گرد نیز ۶Nm است.

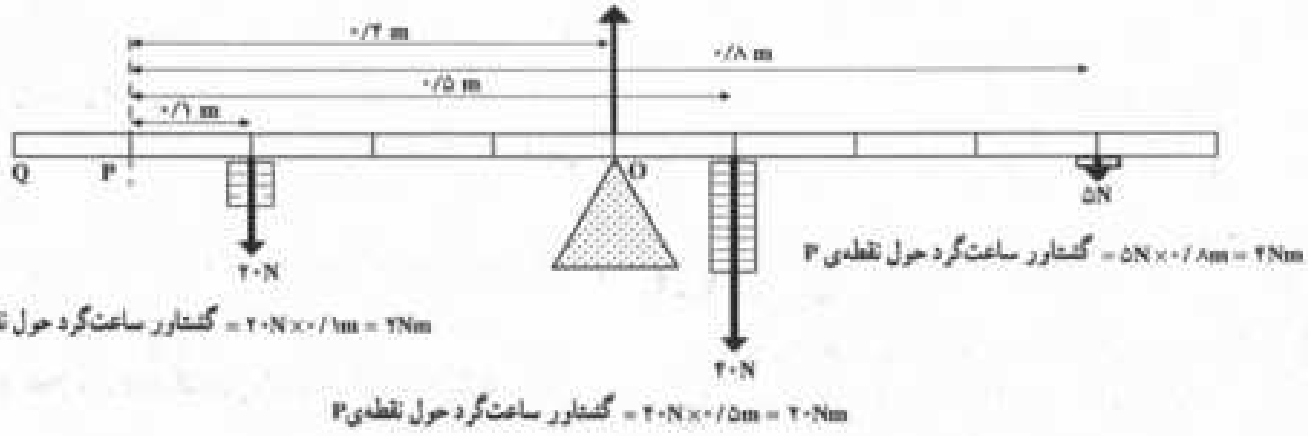
گشتاورهای ساعت‌گرد $= ۰/۱m \times ۴۰ + ۰/۴m \times ۵ =$

$۴Nm + ۲Nm = ۶Nm$

گشتاورهای پاد ساعت‌گرد $= ۰/۳ \times ۲۰ = ۶N.m$

می‌بینیم که گشتاورهای ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد نسبت به نقطه‌ی O مساوی است.

حالا گشتاورها را نسبت به نقطه‌ی دل‌خواه دیگری مانند P تعیین می‌کنیم.



گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی P $= ۵N \times ۰/۸m = ۴Nm$

گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی P $= ۴۰N \times ۰/۱m = ۴Nm$

گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی P $= ۴۰N \times ۰/۵m = ۲۰Nm$

شکل ۶ـ۴ ــ اگر میله در حال تعادل باشد گشتاور نیروها حول هر نقطه دل‌خواه در جهت‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد با هم مساوی است.

توجه کنید در این‌حالت گشتاور نیروهای ۵، ۴۰ و ۲۰ نیوتون همگی ساعت‌گرد است به عبارت دیگر این نیروها می‌خواهند میله را نسبت به نقطه‌ی P در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانند.

گشتاور ساعت‌گرد $= ۰/۱m \times ۲۰N + ۰/۵m \times ۴۰N +$

$۰/۸m \times ۵N$

گشتاور ساعت‌گرد $= ۲Nm + ۲۰Nm + ۴Nm = ۲۶Nm$

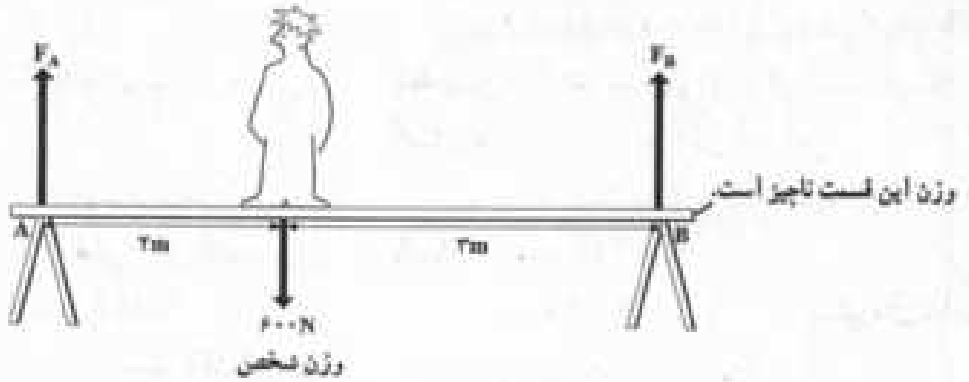
دقت کنید در این حالت نیروی ۶۵ نیوتون، یعنی نیرویی که تکیه‌گاه بر میله وارد می‌کند، دارای گشتاور پادساعت‌گرد است یعنی می‌خواهد میله را در خلاف جهت چرخش عقربه‌های ساعت بچرخاند.

گشتاور پادساعت‌گرد $= ۰/۴m \times ۶۵N = ۲۶Nm$

می‌بینیم که برای هر نقطه‌ی دل‌خواه P نیز گشتاورهای ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد با هم برابرند.

توجه به این نکته ضروری است که، لازم نیست که نقطه‌ی انتخاب شده حتماً بر روی میله قرار داشته باشد.

مثال: شکل ۷ـ۴ شخصی را نشان می‌دهد که بر روی تخته سبک ایستاده است، و تخته در دو طرف بر روی تکیه‌گاه قرار دارد. نیروهایی را که در نقاط A و B بر تخته وارد می‌شوند تعیین کنید.



شکل ۷ـ۴

حل: چون تخته در حال تعادل است، اصل گشتاورها صادق است. از این اصل برای تعیین نیروهای مورد نظر استفاده می‌کنیم. گشتاورها را می‌توان حول هر نقطه‌ی دل‌خواهی حساب کرد، امّا اگر گشتاورها را حول نقطه‌ی A یا B حساب کنیم بهتر است، زیرا که یکی از نیروهای نامعلوم F_x یا F_y حذف می‌شود و محاسبه راحت‌تر انجام می‌گیرد.

ابتدا گشتاور نیروها را حول نقطه‌ی A تعیین می‌کنیم:

گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی A = ۶۰۰N × ۲m =

۱۲۰۰Nm

گشتاور پادساعت‌گرد حول نقطه‌ی A = $F_B \times 5m$ =

$5F_B$

گشتاور پادساعت‌گرد = گشتاور ساعت‌گرد

$1200Nm = 5F_B$

$F_B = 240N$

حالا برای تعیین نیروی F_A دو راه وجود دارد. یا می‌توان گشتاورها را حول نقطه‌ی B محاسبه کرد یا این‌که از برابری مجموع دو نیروی رو به بالای F_A و F_B با نیروی رو به پایین ۶۰۰N استفاده کرد. از هر روشی که استفاده شود بزرگی نیروی F_A برابر با ۳۶۰ نیوتون خواهد بود.

روش اوّل ــ برابری گشتاورها

گشتاور ساعت‌گرد حول نقطه‌ی B = $F_A \times 5m = 5F_B.m$

گشتاور پادساعت‌گرد حول نقطه‌ی B = ۶۰۰N × ۳m =

۱۸۰۰Nm

گشتاور پادساعت‌گرد = گشتاور ساعت‌گرد

$5F_A m = 1800Nm$

$F_A = 360N$

روش دوّم ــ برابری نیروهای هم‌سو

$F_A + F_B = 600N$

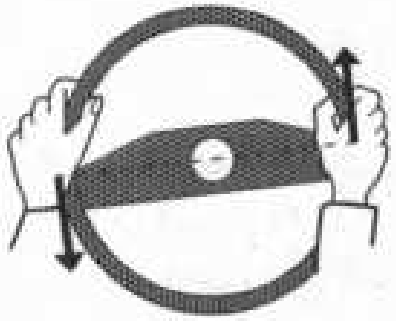
$F_A + 240N = 600N$

$F_A = 360N$

۴ــ۴ زوج نیرو

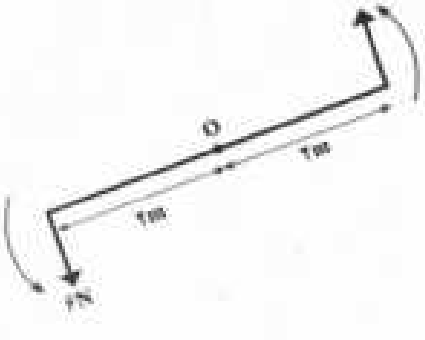
دو نیروی موازی با بزرگی مساوی در دو سوی مخالف را زوج نیرو می‌گویند. وقتی می‌خواهیم با دو دست فرمان اتومبیل را بچرخانیم و یا وقتی می‌خواهیم در یک شیشه را با چرخاندن باز کنیم، عملاً از زوج نیرو استفاده می‌کنیم.

برای محاسبه‌ی اثر چرخشی زوج نیرو، گشتاور هر یک از نیروها را حول یک نقطه حساب و آن‌ها را با هم جمع می‌کنیم تا برآیند گشتاورها به‌دست آید.



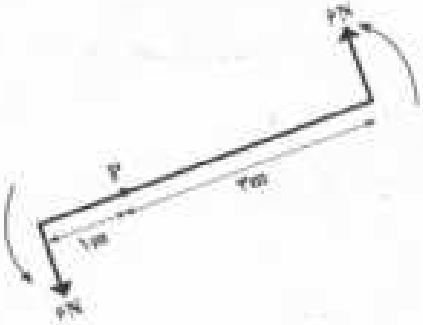
شکل ۸ــ۴ــ زوج نیرو، فرمان اتومبیل را می‌چرخاند.

در شکل‌های ۹ـ۴، ۱۰ـ۴ و ۱۱ـ۴ پایین نشان داده‌ایم که ***محور چرخش در هر جایی که باشد برآیند گشتاورها تغییر نمی‌کند، ساده‌ترین روش برای تعیین برآیند گشتاورهای زوج نیرو، این است که بزرگی یکی از دو نیرو را در بزرگی فاصله‌ی بین دو نیرو ضرب کنیم.***



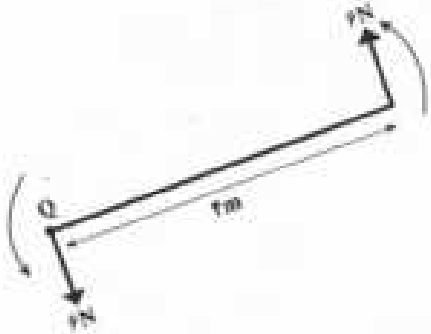
مجموع گشتاور نیروهای پاد ساعت‌گرد
$= ۱۲Nm + ۱۲Nm = ۲۴Nm$

شکل ۹ـ۴



مجموع گشتاور نیروهای پاد ساعت‌گرد
$= ۱۸Nm + ۶Nm = ۲۴Nm$

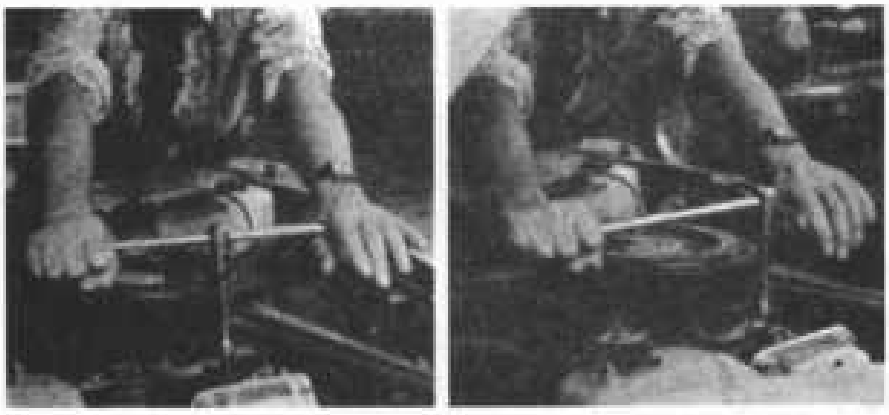
شکل ۱۰ـ۴



مجموع گشتاور نیروهای پادساعت‌گرد
$= ۲۴Nm + ۰ = ۲۴Nm$

شکل ۱۱ـ۴

کسانی که از آچار بوکس (Box) استفاده کرده‌اند خوب می‌دانند که اثر چرخشی یک زوج نیرو حول نقاط مختلف تغییر نمی‌کند، تغییر طول اهرم آچار بوکس در دو طرف ممکن است کاربرد آچار را آسان‌تر کند ولی چرخیدن آن را آسان‌تر نمی‌کند.



شکل ۱۲ـ۴ـ کاربرد آچار بوکس

پرسش‌ها

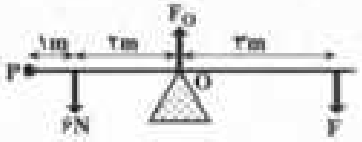
۱ـ اثر چرخشی یا گشتاور یک نیرو به چه عواملی بستگی دارد؟

۲ـ برای تعادل اجسام چه شرایطی لازم است؟

۳ـ میله‌ی شکل ۱۳ـ۴ در حال تعادل است.

الف ـ گشتاور نیروی ۶N حول نقطه‌ی O چقدر است؟

ب ـ نیروی F و نیروی واکنش x را تعیین کنید.



شکل ۱۳ـ۴

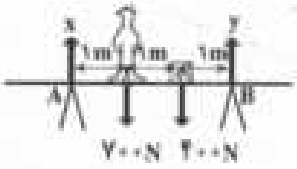
۴ـ تخته‌ی سبکی مطابق شکل ۱۴ـ۴ بر روی دو تکیه‌گاه قرار دارد. یک بلوک سیمانی و یک شخص بر روی این تخته قرار گرفته‌اند.

ـ گشتاور هر یک از نیروها را حول نقطه‌ی A حساب کنید.

ـ از اصل گشتاورها برای محاسبه‌ی نیروی واکنش y استفاده کنید.

ـ مجموع دو نیروی رو به بالای x و y را حساب کنید.

ـ بزرگی نیروی x را تعیین کنید.



شکل ۱۴ـ۴

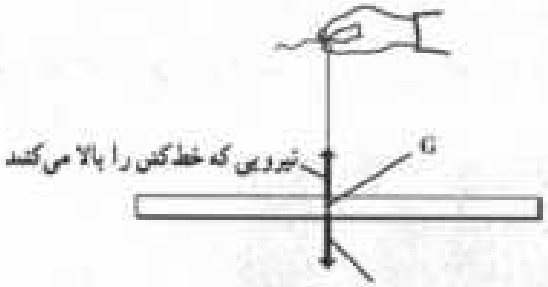
۵ـ پیش‌ترین گشتاوری که یک پیچ می‌تواند بدون بریده شدن تحمل کند ۱۰۰Nm است. یک مکانیک این پیچ را با آچاری به طول ۰/۲۵ متر می‌چرخاند تا بسته شود. بزرگ‌ترین نیرویی که او می‌تواند به انتهای آچار وارد کند چند نیوتون است؟

۵ـ۴ مرکز گرانش

یک جسم به‌گونه‌ای رفتار می‌کند که گویی تمام نیروی وزن آن به یک نقطه‌ی خاص اثر می‌کند. محل این نقطه به نحوه‌ی تعادل و احتمال افتادن جسم بستگی دارد.

یک خط‌کش چوبی را در نظر بگیرید (شکل ۱۵ـ۴) این خط‌کش از تعداد زیادی ذرات کوچک درست شده است، به‌هریک از این ذرات نیروی گرانشی کوچکی وارد می‌شود. وقتی خط‌کش از نقطه‌ی G آویخته شده است، خط‌کش در حالت تعادل قرار دارد، زیرا در وضع نیروی گرانشی وارد بر ذرات اثرات چرخشی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

شکل ۱۵ـ۴



شکل ۱۶ـ۴

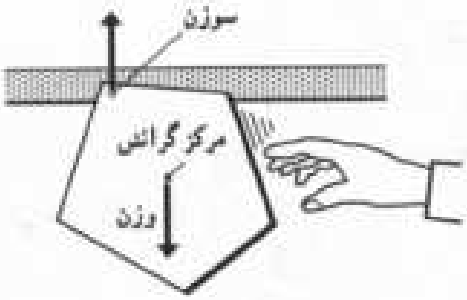
در شکل ۱۶ـ۴ تنها یک نیروی گرانشی نشان داده شده است که بر نقطه‌ی G وارد می‌شود. این نیرو برآیند همه‌ی نیروهای گرانشی است که بر ذرات تشکیل‌دهنده‌ی خط‌کش وارد می‌شوند. اگر این نیرو به طرف راست یا چپ خط‌کش اثر می‌کرد، خط‌کش حول نقطه‌ی G به‌طرف چپ یا راست می‌چرخید. این نیروی رو به پایین که بر نقطه‌ی G اثر می‌کند، با وزن خط‌کش برابر می‌باشد.

نقطه‌ی G، یعنی محل اثر نیروی وزن، را مرکز گرانش می‌نامند.

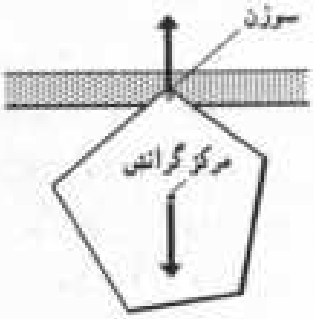
پیدا کردن مرکز گرانش اجسامی مانند یک میله، یک جعبه‌ی

مکعب مستطیل یا توپ که شکل هندسی مشخصی دارند آسان است. مرکز گرانش این اجسام در مرکز هندسی آنها قرار دارد.

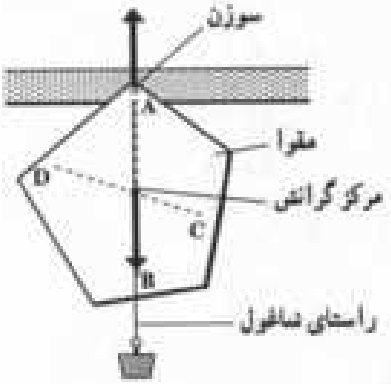
مرکز گرانش اجسامی که شکل هندسی مشخصی ندارند از طریق آزمایش تعیین می‌شود.



شکل ۱۷ــ۴



شکل ۱۸ــ۴



شکل ۱۹ــ۴

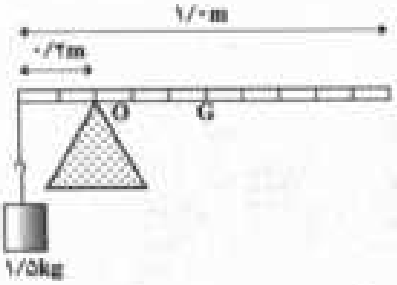
شکل بالا مقوا آن‌قدر می‌چرخد تا مرکز گرانش در زیر نقطه‌ی آویز قرار گیرد.

ورق مقوایی نشان داده شده در شکل ۱۷ــ۴ به‌راحتی می‌تواند حول سوزنی که در گوشه بالایی آن فرو رفته است بچرخد. نیروهای مؤثر بر مقوا زوج نیرو تشکیل می‌دهند، این زوج نیرو مقوا را آن‌قدر به‌طرف پایین می‌چرخاند تا به حالت تعادل درآید. در شکل ۱۸ــ۴ در حالت تعادل، مرکز گرانش مقوا درست در زیر نقطه‌ی آویز واقع است. چنانچه سوزن را در نقطه‌ی دیگری بر روی مقوا فرو کنیم و مقوا حول آن نقطه بچرخد، پس از برقراری تعادل باز هم مرکز گرانش در زیر نقطه‌ی آویز قرار می‌گیرد. از این واقعیت برای پیدا کردن مرکز گرانش اجسام مختلف استفاده می‌شود.

در شکل ۱۹ــ۴ شاغولی به سوزن آویخته شده است، مرکز گرانش ورق مقوا بر روی خط AB یعنی در راستای نخ شاغول قرار دارد. اگر محل سوزن را تغییر دهیم، نخ شاغول در راستای خطی مانند CD قرار می‌گیرد. مرکز گرانش بر روی این خط نیز واقع است در نتیجه مرکز گرانش در محل برخورد دو خط AB و CD قرار دارد.

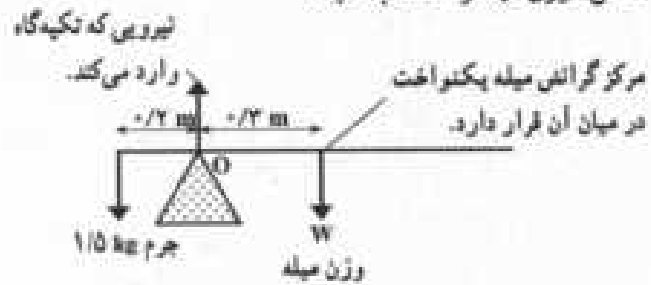
۶ــ۴ میله در حال تعادل

در بحث‌های قبلی، در مثال‌های ذکر شده، فرض کردیم که وزن میله ناچیز است لذا در محاسبات انجام شده از اثر وزن میله صرف‌نظر کردیم. باید قبول کرد که هر میله وزنی دارد و در حل مسائل مربوط به تعادل میله باید وزن میله را به حساب بیاوریم.



شکل ۲۰ــ۴ــ برای تعیین وزن میله از گشتاور نیرو می‌توان استفاده کرد.

مثال: مطابق شکل ۲۱ــ۴ میله‌ای در نقطه‌ی O بر روی تکیه‌گاه قرار دارد، برای تعادل به یک سر این میله وزنه‌ای به جرم ۱/۵ کیلوگرم آویزان کردیم، با استفاده از اطلاعات داده شده در شکل، وزن میله را حساب کنید.



شکل ۲۱ــ۴

حل: با فرض این‌که جرم میله در تمام نقاط آن به‌طور یکنواخت توزیع شده است، مرکز گرانش میله درست در میان آن قرار دارد. باید قبول کنیم که وزن میله به‌عنوان یک نیرو بر مرکز گرانش آن اثر می‌گذارد. بنابراین سه نیرو بر میله اثر می‌کند.

اوّلین نیرو را نیروی وزن میله می‌گیریم و آن را با W نشان می‌دهیم. این نیرو گشتاور ساعت‌گرد ایجاد می‌کند.

دومین نیروی مؤثر بر میله، نیروی وزن وزنه‌ای است که بر ابتدای میله آویزان است. این نیرو گشتاور پادساعت‌گرد ایجاد می‌کند.

نیروی دیگری که بر میله اثر می‌کند نیرویی است که تکیه‌گاه، بر میله وارد می‌کند. این نیرو به سوی بالا است و گشتاوری ایجاد نمی‌کند.

گشتاور ساعت‌گرد $= W \times ۰/۳m = ۰/۳Wm$

گشتاور پاد ساعت‌گرد $= ۱۵N \times ۰/۲m = ۳Nm$

گشتاور ساعت‌گرد = گشتاور پادساعت‌گرد

$۳Nm = ۰/۳Wm$

$W = ۱۰N$

و نتیجه می‌گیریم که وزن میله، ۱۰ نیوتون است. به عبارت دیگر جرم میله تقریباً ۱kg می‌باشد.

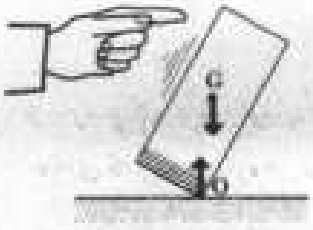
۷ـ۴ پایداری

بعضی از اجسام آسان‌تر و برخی سخت‌تر واژگون می‌شوند، به شکل‌های ۲۲ـ۴ـ الف، ب، پ و ت توجه کنید.

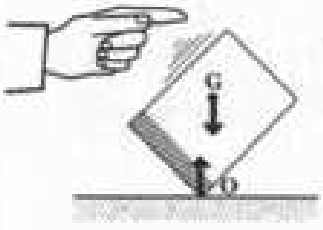
این شکل‌ها نشان می‌دهند که چه اتفاقی باید رخ دهد تا یک جسم واژگون شود. وقتی جعبه‌ای را به مقدار کم کج نموده از حالت تعادل خارج و سپس رها کنیم، جعبه به حالت اوّل خود برمی‌گردد. در چنین حالتی می‌گوییم جعبه در حال تعادل پایدار است به شکل ۲۲ـ۴ـ ب توجه کنید در این حالت نیروی وزن و نیرویی که از طرف تکیه‌گاه بر جعبه وارد می‌شود، زوج نیرویی را تشکیل می‌دهند که جعبه را به حالت اوّل آن برمی‌گردانند حال اگر جعبه را بیش‌تر از قبل، هُل بدهیم جعبه هنگامی شروع به افتادن می‌کند که راستای نیروی وزن از قاعده‌ی پایینی آن خارج شود شکل ۲۲ـ۴ـ پ. در این حالت نیروی وزن و نیرویی که تکیه‌گاه بر جعبه وارد می‌کنند زوج نیرویی را تشکیل می‌دهند، این زوج نیرو جعبه را از حالت اوّلیه‌ی آن دور می‌کنند، در نتیجه جعبه واژگون می‌شود.

شکل ۲۲ـ۴ـ الف ـ وقتی که جعبه را هُل نمی‌دهیم زوج نیرویی وجود ندارد.

شکل ۲۲ـ۴ـ ب ـ جعبه با قاعده‌ی کوچک را اندکی هُل می‌دهیم، جعبه به حالت اوّل برمی‌گردد.

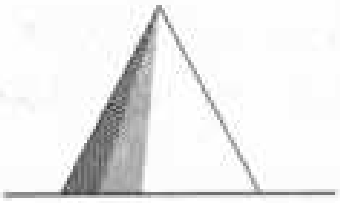


شکل ۲۲ـ۴ـ پ ـ جعبه را بیش‌تر هُل می‌دهیم زوج نیرو جعبه را به‌طرف راست می‌چرخاند.



شکل ۲۲ـ۴ـ ت ـ جعبه با قاعده‌ی بزرگ‌تر و مرکز گرانش پایین‌تر، را می‌توان بیش‌تر کج کرد.

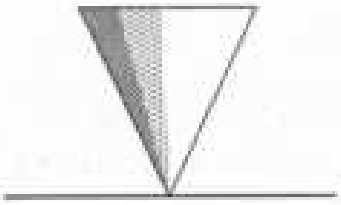
برای آن‌که بتوانیم جعبه را قبل از واژگون شدن به مقدار بیش‌تری خم کنیم دو شرط لازم است. اوّل آن‌که قاعده‌ی جعبه بزرگ‌تر باشد و دوّم آن‌که مرکز گرانش آن به قاعده نزدیک‌تر شود. جعبه‌ی شکل ۲۲ـ۴ ـ ت از جعبه‌ی شکل ۲۲ـ۴ ـ ب پایدارتر است.



شکل ۲۳ـ۴ـ الف ـ تعادل پایدار

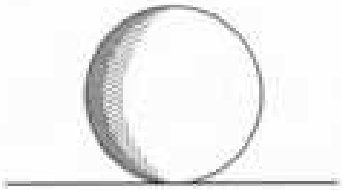
۸ـ۴ انواع تعادل

تعادل پایدار: به شکل‌های ۲۳ـ۴ـ الف، ب و پ توجه کنید. در شکل ۲۳ـ۴ـ الف اگر مخروط را تا اندازه‌ای هُل دهیم که امتداد قائمی که از مرکز گرانش آن می‌گذرد از سطح قاعده‌ی مخروط خارج نشود در این حالت مخروط پس از رها شدن به حالت اوّل خود برمی‌گردد. به‌این نوع تعادل، تعادل پایدار می‌گویند.



شکل ۲۳ـ۴ـ ب ـ تعادل ناپایدار

تعادل ناپایدار: در شکل ۲۳ـ۴ ـ ب اگر مخروط را کمی بیش‌تر هل بدهیم، امتداد قائمی که از مرکز گرانش آن می‌گذرد از سطح قاعده مخروط خارج می‌شود و مخروط دیگر به حالت اوّل خود برنمی‌گردد و واژگون می‌شود. به این تعادل، تعادل ناپایدار می‌گویند.



شکل ۲۳ـ۴ـ پ ـ تعادل بی‌تفاوت

تعادل بی‌تفاوت: در شکل ۲۳ـ۴ـ پ اگر نیرویی بر توپ وارد نشود توپ در حالت خود باقی می‌ماند. اگر بر توپ نیرویی وارد شود توپ در وضعیت جدید قرار می‌گیرد، توپ در هر حالتی که قرار گیرد، در مرکز یعنی درست در بالای محل تماس توپ با میز خواهد بود. چنین تعادلی را تعادل بی‌تفاوت گفته‌اند.

پرسش‌ها

۱ـ میله‌ای در نقطه‌ی O بر روی تکیه‌گاه قرار دارد. نقطه در کجای میله قرار داشته باشد تا در حالت تعادل قرار گیرد؟

شکل ۲۴ـ۴

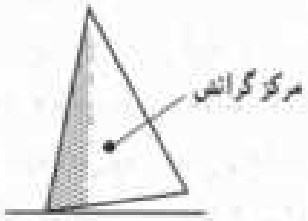
۲ـ یک خط‌کش به طول یک متر موجود است، مطابق شکل ۲۵ـ۴، آن را در نقطه‌ی O بر روی تیغه طوری تکیه می‌دهیم تا به حالت تعادل درآید. با استفاده از اطلاعات موجود بر روی شکل، اوّلاً وزن خط‌کش را محاسبه کنید، ثانیاً مقدار نیرویی را که در نقطه‌ی O به خط‌کش وارد می‌شود به‌دست آورید.

شکل ۲۵ـ۴

۳ـ شکل زیر را دوباره رسم کنید، تمام نیروهایی را که به تخته وارد می‌شوند مشخص کنید. بزرگی دو نیرویی را که در نقاط A و B به تخته وارد می‌شوند تعیین کنید.

شکل ۲۶ـ۴

۴ـ شکل ۲۷ـ۴ را دوباره رسم کنید و نیروهایی را که بر مخروط وارد می‌شوند نشان دهید چرا مخروط به حالت اوّل خود بازمی‌گردد؟



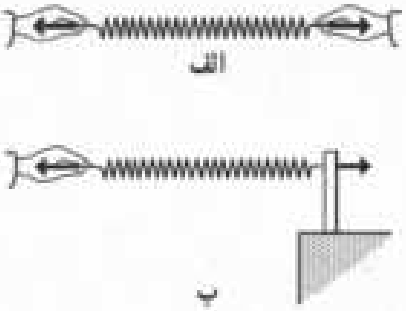
شکل ۲۷ـ۴

۵ـ با استفاده از یک پوتز درباره‌ی انواع تعادل بحث کرده و شکل هر یک از حالت‌ها را رسم کنید.

۹ـ۴ نیروهای کشسی

برای ساختن ترازوهای فنری از یک فنر فولادی استفاده شده است. خاصیت کشسانی این فنرها باعث شده است که از آن‌ها به‌عنوان نیروسنج استفاده شود.

راحت‌ترین روش برای کشیدن فنر، وارد کردن نیرو به دو سر فنر است. اگر یک سر فنری را به یک میله ببندیم و یک سر دیگر آن را بکشیم، میله نیز فنر را می‌کشد.



شکل ۲۸ـ۴ـ فنر با دو نیرو کشیده می‌شود.

۱۰ـ۴ آزمایش با فنر

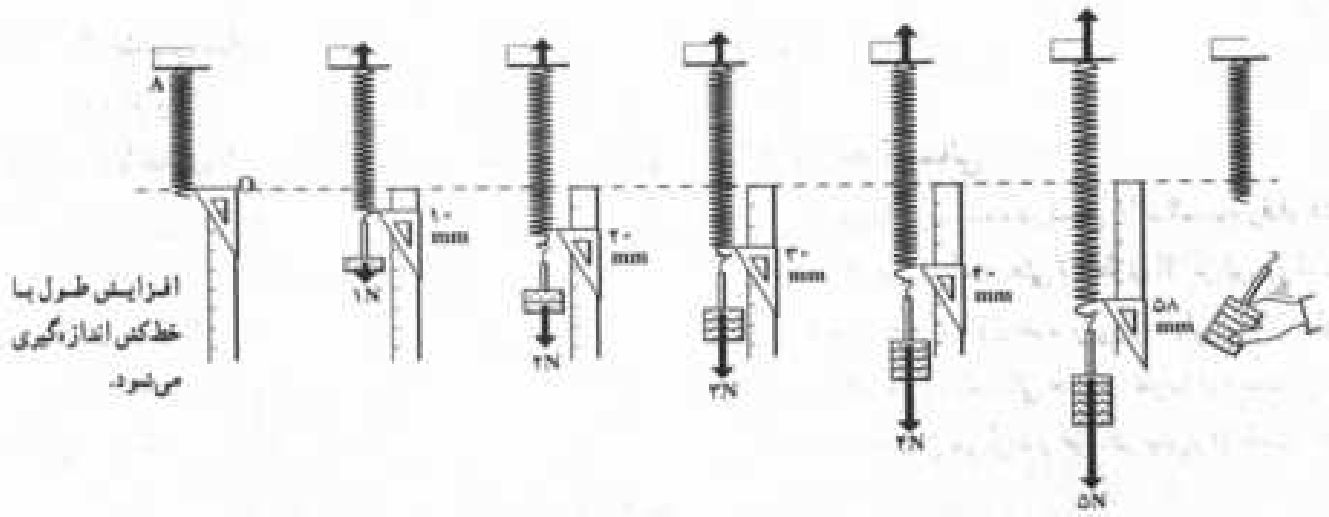
یک سر فنر را در محلی محکم می‌کنیم و سر دیگر آن را می‌کشیم، تفاوت طول فنر کشیده شده با فنر کشیده نشده به بزرگی نیرویی که فنر را می‌کشد بستگی دارد به شکل ۲۹ـ۴ توجه کنید. در این شکل یک سر فنر در نقطه‌ای محکم شده است. با فرض این‌که یک کیلوگرم جرم، ۱۰ نیوتون وزن دارد، ابتدا به سر دیگر فنر یک وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی آویزان می‌کنیم و تغییر طول فنر را اندازه می‌گیریم، سپس در مراحل بعدی مرتباً وزنه‌های ۱۰۰ گرمی را به وزنه‌ی قبلی اضافه می‌کنیم و هر بار تغییر طول فنر را اندازه می‌گیریم.

در شکل بزرگی وزنه‌ها و تغییر طول‌ها نوشته شده است.

نتایج حاصل از آزمایش را بر روی محورهای افقی و قائم منتقل می‌کنیم و نمودار افزایش طول را نسبت به نیروی کشش رسم می‌کنیم.

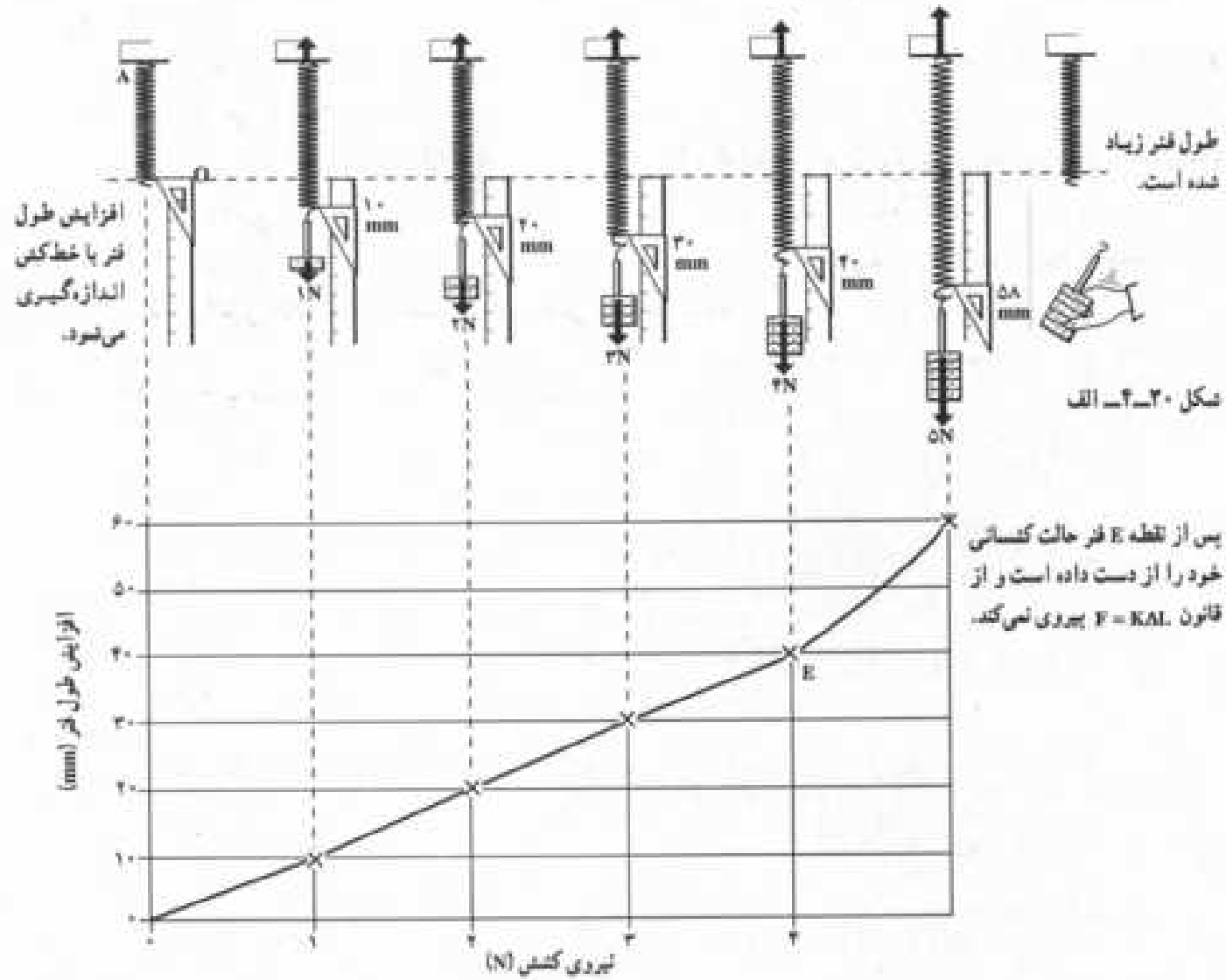
پرسش

اگر نیروهایی که به هر یک از دو طرف فنر وارد می‌شود ۱۲Nنباشد فنر چه نیرویی را تحمل می‌کند به عبارت دیگر چه نیرویی بر فنر وارد می‌شود؟



شکل ۲۹ـ۴ـ به‌ازای هر ۱N، طول فنر ۱mm بیش‌تر می‌شود.

توجه به این مطلب ضروری است که آزمایش در تمام مراحل فقط با یک فنر انجام گرفته است. زیرا فنرهای مختلف، حتی بعضی از فنرهای ظاهراً مشابه، رفتار یکسانی ندارند.



شکل ۳۰ـ۴ـ الف

شکل ۳۰ـ۴ـ ب ـ نمودار، نتایج حاصل از آزمایش را نشان می‌دهد.

۱۱ـ۴ تناسب ساده

نمودار رسم شده در شکل ۳۰ـ۴ـ ب از مبدأ مختصات می‌گذرد و تا نقطه‌ی E یک خط راست است. مفهوم این خط از نظر ریاضی، این است که :

افزایش طول فنر با نیروی کشش نسبت مستقیم دارد.

در این آزمایش از این نمودار به این نتایج می‌رسیم :

۱ـ اگر نیروی کشش دو یا چند برابر شود، افزایش طول فنر نیز دو یا چند برابر می‌شود.

۲ـ نسبت افزایش طول فنر به نیروی کشش مقدار ثابتی است و این مقدار ثابت در این آزمایش ۱۰mm/N می‌باشد.

۳ـ به‌ازای هر یک نیوتون نیروی کشش اضافه شده، طول فنر فقط ۱۰mm اضافه می‌شود.

این خاصیت فنر باعث شده است که بتوانیم از آن برای اندازه‌گیری نیرو استفاده کنیم.

اگر نیروی کشش را با F و افزایش طول فنر را با ΔL نشان دهیم رابطه‌ی زیر بین F و ΔL وجود دارد.

$$F = K\Delta L$$

در این رابط K ضریب ثابت فنر نام دارد و برای فلزات مختلف متفاوت است.

در دستگاه بین‌المللی SI نیرو (F) برحسب نیوتون، تغییر طول فنر (ΔL) برحسب متر و K برحسب $\frac{\text{نیوتون}}{\text{متر}}$ ($\frac{N}{m}$) بیان می‌شود.

۱۲ـ۴ حدّ کشسانی

در نمودار رسم شده در شکل ۳۰ـ۴ـ ب، رفتار فنر پس از نقطه‌ی E تغییر می‌کند. یعنی تا نقطه‌ی E اگر نیروی کشش را حذف کنیم فنر به‌حالت اوّل خود برمی‌گردد ولی پس از نقطه‌ی E با حذف F فنر حالت کشسانی خود را تقریباً از دست می‌دهد و دیگر به حالت قبل باز نمی‌گردد و طول فنر بیش‌تر از حالت اوّلیه‌اش خواهد بود.

اگر ماده‌ای پس از حذف نیروی کشش به حالت اوّلیه‌ی خود برگردد کشسان است. بنابراین، این فنر فقط تا نقطه‌ی E کشسان می‌باشد لذا نقطه‌ی E را حدّ کشسانی فنر می‌گویند.

۱۳ـ۴ قانون هوک

رابرت هوک در ۳۰۰ سال پیش آزمایش‌هایی انجام داد و رابطه‌ی بین نیروی کشش و افزایش طول را به‌دست آورد. *هر ماده‌ای که افزایش طول آن با نیروی کشش وارد بر آن متناسب باشد از قانون هوک تبعیّت می‌کند.*

قانون هوک برای مواد زیادی مانند چوب، شیشه و اکثر فلزات صادق است.

البته باید توجه کرد که این مواد از حد کشسانی خود خارج نشوند.

پرسش‌ها

۱ـ حدّ کشسانی را شرح دهید.

۲ـ ماده‌ای که از قانون هوک پیروی می‌کند چه ویژگی‌هایی دارد؟

۳ـ یک سر فنری را در نقطه‌ای محکم کرده، به سر دیگر آن چند وزنه‌ی معین آویزان می‌کنیم تا کشیده شود.

الف ـ برای تولید نیروهای ۰/۵، ۱ و ۵ نیوتون چه جرم‌هایی لازم است؟

ب ـ اگر ضریب ثابت فنر $\frac{100N}{m}$ باشد، افزایش طول فنر در موارد فوق چقدر است؟

فصل ۵

کار و انرژی

اگر نیرویی بر جسمی وارد شود و آن را به حرکت درآورد می‌گوییم کار انجام شده است. وقتی کار انجام می‌شود، انرژی از یک نوع به نوع دیگر تبدیل می‌گردد.

۵ــ۱ کار

در صحبت‌های روزانه به هر عملی که مردم انجام می‌دهند کار می‌گویند، اما در فیزیک واژه‌ی کار معنای دقیق‌تری دارد. کار فقط وقتی انجام می‌شود که نیرویی باعث حرکت شود. هر چه نیرو بزرگ‌تر باشد و جسم بیش‌تر جابه جا شود کار انجام شده بزرگ‌تر است. یکای کار در دستگاه SI، ژول است که با نماد (J) نشان داده می‌شود.

اگر نیروی یک نیوتونی جسمی را در راستای نیرو، یک متر جابه‌جا کند یک ژول کار انجام داده است.

کار انجام شده به‌وسیله‌ی یک نیرو از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

جابه‌جایی در راستای نیرو × نیرو = کار

این رابطه را به‌صورت یک فرمول به‌این‌صورت می‌نویسیم:

$$W = F \cdot X$$

اگر نیرو برحسب نیوتون (N) و جابه‌جایی برحسب متر (m) باشد، کار انجام شده برحسب ژول (J) خواهد بود، اگر نیروی ۴ نیوتون بتواند جسمی را به اندازه‌ی ۳ متر در راستای نیرو جابه‌جا کند کار انجام شده ۱۲ ژول می‌باشد.

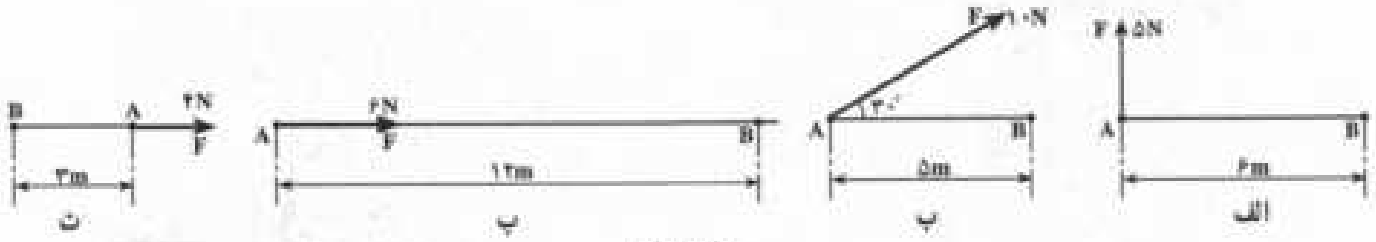
هزار ژول را کیلوژول (kJ) و یک میلیون ژول را مگاژول (MJ) می‌گویند.

$$kJ = ۱۰۰۰ J$$

$$MJ = ۱۰۰۰,۰۰۰ J$$

پرسش

در شکل‌های زیر کار نیروی F را از A تا B حساب کنید.



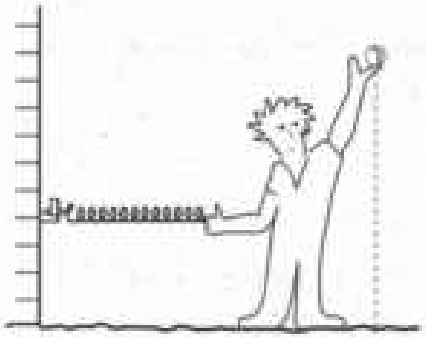
شکل ۱ــ۵

۵ــ۲ انرژی

هر جسمی که بتواند کار انجام دهد دارای انرژی است. یک فنر فشرده شده، ظرفی پُر از بنزین، بدن انسان و سنگی که در دست شماست، همگی انرژی دارند، پس به‌طور خلاصه می‌توان گفت: ***انرژی امکان انجام کار در حال یا آینده است.*** انرژی انواع مختلفی دارد که در این کتاب به چند نوع آن اشاره می‌کنیم.

۵ـ۳ انرژی پتانسیل

انرژی نهفته را انرژی پتانسیل می‌گویند. اگر جسمی پس از رها شدن بتواند کار انجام دهد، دارای انرژی پتانسیل است. مثلاً فنر کشیده شده دارای انرژی پتانسیل است، زیرا اگر رها شود، هنگام برگشت به حالت عادی، کار انجام می‌دهد. همچنین گلوله‌ی واقع در یک ارتفاع یا سطح شیب‌دار دارای انرژی پتانسیل است. زیرا اگر رها شود هنگام سقوط یا سرازیر شدن به‌سوی زمین، کار انجام می‌دهد.



شکل ۵ـ۲ـ ایجاد انرژی پتانسیل با دو روش متفاوت

۵ـ۴ انرژی جنبشی

انرژی اجسام در حرکت را انرژی جنبشی می‌گویند. مثل یک توپ در حال حرکت یا یک اتومبیل در حال حرکت. اگر جسمی در حال چرخش باشد نیز دارای انرژی جنبشی است.

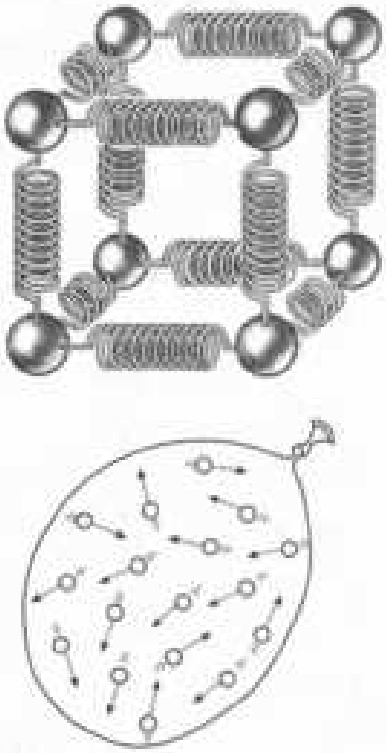
وقتی توپ در حال حرکت را با دست می‌گیریم، انرژی جنبشی توپ به‌صورت کار ظاهر می‌شود و این، کار است که سبب می‌شود بدن ما به‌طرف عقب برود.

شکل ۵ـ۳ـ جسم در حال حرکت، انرژی جنبشی دارد.

۵ـ۵ انرژی گرمایی

می‌دانید که تمام مواد از ذرات کوچکی به‌نام مولکول درست شده‌اند. مولکول‌های مواد در حرکت و جنبش دائمی می‌باشند. فاصله‌ی مولکول‌ها در جامدات و مایعات کم است و مولکول‌ها با نیروی جاذبه‌ی قوی یکدیگر را جذب می‌کنند. در جامدات و مایعات مولکول‌ها دارای حرکت ارتعاشی می‌باشند. در گاز فاصله‌ی مولکول‌ها بسیار زیاد است و مولکول‌ها تقریباً به‌صورت آزاد و با سرعت زیاد حرکت می‌کنند. مولکول‌ها ضمن جابه‌جا شدن، حرکت چرخشی نیز دارند. مولکول‌های مواد دارای انرژی پتانسیل هستند. زیرا با وجود جاذبه‌ی فنر مانندی که می‌خواهد آن‌ها را به سوی هم بکشد به‌خاطر حرکتی که دارند از یکدیگر فاصله می‌گیرند. مولکول‌ها دارای انرژی جنبشی هستند زیرا دائماً در حال حرکت می‌باشند.

در فیزیک به مجموعه‌ی انرژی جنبشی و پتانسیل مولکول‌های یک جسم انرژی گرمایی می‌گویند، اما در مهندسی، انرژی گرمایی مفهوم دیگری دارد. انرژی حرارتی منتقل شده از یک جسم به جسم دیگر را مهندسان، انرژی گرمایی می‌گویند.



شکل ۵ـ۴ـ جامدات، مایعات و گازها انرژی گرمایی دارند، زیرا که مولکول‌های آن‌ها حرکت می‌کنند و بین آن‌ها جاذبه‌ی مولکولی وجود دارد.

۶ــ۵ انواع دیگر انرژی

باتری‌ها و مولدهای الکتریکی انرژی پتانسیل الکتریکی یا به اختصار انرژی الکتریکی دارند. غذاها و سوخت‌ها انرژی شیمیایی دارند، هسته‌ی اتم‌ها دارای انرژی هسته‌ای‌اند، امواج الکترومغناطیس یعنی امواج نوری، امواج رادیویی و پرتوهای x و γ دارای انرژی است. صوت نیز دارای انرژی است. البته ماهیت انرژی صوتی با ماهیت سایر امواجی که درباره‌ی آن‌ها صحبت شد متفاوت است.

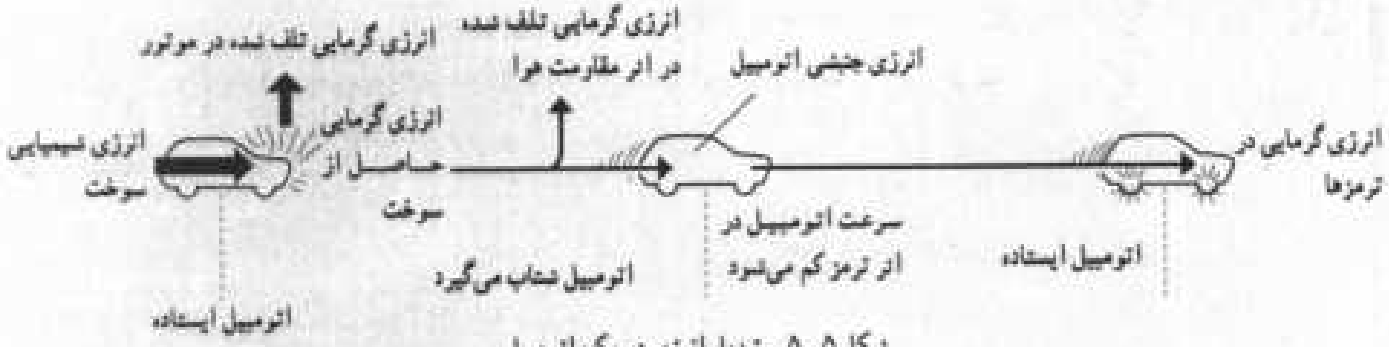
۷ــ۵ تبدیل انرژی از نوعی به نوع دیگر

طبق قانون پایستاری (بقا) انرژی، انرژی ایجاد نمی‌شود و از بین نمی‌رود، بلکه از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌گردد.

وقتی که توپی را به سوی بالا پرتاب می‌کنیم، مقداری از انرژی شیمیایی موجود در بدن ما، به انرژی جنبشی توپ تبدیل می‌شود. در لحظه‌ی پرتاب، انرژی جنبشی توپ بیش‌ترین مقدار را دارد. هرچه توپ بالاتر می‌رود، انرژی پتانسیل آن بیش‌تر و انرژی جنبشی آن کم‌تر می‌شود تا جایی که در بالاترین نقطه انرژی پتانسیل آن بیش‌ترین مقدار و انرژی جنبشی آن کم‌ترین مقدار، یعنی صفر می‌شود. حال وقتی توپ به‌طرف زمین برمی‌گردد این فرآیند معکوس می‌شود یعنی انرژی پتانسیل آن کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد تا در لحظه‌ای که توپ به زمین می‌رسد، انرژی جنبشی به بیش‌ترین مقدار خود رسیده است. پس از برخورد توپ با زمین، انرژی جنبشی آن به انرژی گرمایی و انرژی صوتی تبدیل می‌شود.

پس از متوقف شدن توپ، مولکول‌های زمین، توپ و هوای اطراف آن اندکی گرم‌تر شده و سریع‌تر از قبل حرکت می‌کنند. اگر مقاومت هوا ناچیز باشد، توپ، با همان انرژی جنبشی که هنگام پرتاب بالا رفته بود به محل پرتاب برمی‌گردد.

شکل زیر اتومبیلی را نشان می‌دهد که از حالت سکون حرکت می‌کند، چند ثانیه شتاب می‌گیرد، سپس ترمز می‌کند و می‌ایستد. در طی این مدت، انرژی‌های مختلف از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شوند. و بالاخره تمام انرژی سوخت اتومبیل به‌انرژی گرمایی تبدیل می‌گردد.



شکل ۵ــ۵ــ تبدیل انرژی در یک اتومبیل

۸ــ۵ برابری کار و انرژی

وقتی انرژی از یک نوع به نوع دیگر تبدیل می‌شود کاری انجام می‌گیرد. مثلاً اگر یک سنگ در هنگام سقوط ۲۰ ژول انرژی پتانسیل از دست بدهد، ۲۰ ژول انرژی جنبشی به‌دست می‌آورد، در این فرآیند نیروی گرانشی مؤثر بر سنگ ۲۰ ژول کار انجام داده است.

اگر ۱۰۰۰ ژول از انرژی جنبشی اتومبیلی در اثر وجود مقاومت هوا تلف شود، هوای اطراف اتومبیل ۱۰۰۰ ژول انرژی گرمایی به‌دست می‌آورد. در این فرآیند اتومبیل برای سرعت بخشیدن به مولکول‌های هوا ۱۰۰۰ ژول کار انجام داده است. در نتیجه می‌توان گفت مقدار کار انجام شده با مقدار انرژی تبدیل شده، از یک نوع به نوع دیگر، مساوی است.

انرژی تبدیل شده = کار انجام شده

۹ــ۵ انرژی باد و امواج

مولدهایی که به کمک باد کار می‌کنند هنوز موفقیت زیادی

را به‌دست نیاورده‌اند. همچنین وسایلی که برای استفاده از انرژی امواج آب طراحی شده‌اند هنوز به اندازه‌ی کافی تکامل نیافته‌اند.

شکل ۶ـ۵ـ این مولد الکتریسیته با باد کار می‌کند.

۱۰ـ۵ انرژی گرمایی زمین

هر چه به مرکز زمین نزدیک‌تر می‌شویم، دما بیش‌تر می‌شود.

بر این اساس، اگر در زمین دو حفره به عمق چند کیلومتر ایجاد کنیم، و آن‌ها را در عمق به یکدیگر متصل نماییم، سپس آب را با فشار زیاد به داخل یکی از حفره‌ها بفرستیم، از حفره دیگر می‌توانیم بخار آب دریافت کنیم. می‌توان از بخار تولید شده برای گرم کردن منازل یا راه‌اندازی مولدها استفاده کرد. البته اجرای این طرح‌ها بسیار مشکل و پرهزینه است.

۱۱ـ۵ انرژی هسته‌ای

اگر هسته‌ی اورانیوم شکسته شود انرژی گرمایی زیادی آزاد می‌گردد. مقدار انرژی گرمایی تولید شده با یک کیلوگرم اورانیوم با انرژی آزاد شده از ۵۰ تن زغال‌سنگ برابر است.

تولید انرژی هسته‌ای مشکلات عمده‌ای دارد. مثلاً یکی از مشکلات آنها این است که رآکتورهای هسته‌ای مواد زایدی تولید می‌کنند که تا هزاران سال تابش‌های خطرناک گسیل می‌دارند.

گروهی از مردم معتقدند که ما نباید چنین خطرهایی را بپذیریم، و بهتر است به کلی از انرژی هسته‌ای چشم بپوشیم. البته گروه دیگری معتقدند که برای تولید انرژی راه دیگری نداریم.

پرسش‌ها

۱ـ بزرگی انرژی‌های زیر را برحسب ژول بنویسید.

$۱۰^{۶}MJ$ ، ۰/۲kJ ، ۰/۵MJ ، ۱۰kJ

۲ـ قانون پایستاری انرژی را بیان کنید.

۳ـ وقتی می‌گوییم انرژی پتانسیل جسمی یک ژول است، یعنی چه؟

۴ـ نیروی ۱۲ نیوتون جسمی را به اندازه‌ی ۵ متر در راستای نیرو جابه‌جا می‌کند. کار انجام شده چقدر است؟

۵ـ برای آن که بتوانیم سنگی را ۲ متر به‌طرف بالا پرتاب کنیم باید ۱۰ ژول کار انجام بدهیم. انرژی داده شده به سنگ چقدر است؟

ـ انرژی سنگ در بالاترین نقطه‌ی مسیر آن چقدر است؟

ـ انرژی سنگ هنگام رسیدن به نقطه پرتاب چقدر است؟

۱۲ــ۵ محاسبه‌ی انرژی پتانسیل گرانشی

انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم، مقدار انرژی پتانسیلی است که یک جسم به‌خاطر داشتن ارتفاع از سطح زمین کسب کرده است.

انرژی پتانسیل گرانشی توپ نشان داده شده در شکل ۷ــ۵، با مقدار کاری که توپ هنگام افتادن انجام می‌دهد برابر است. اگر از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم، کاری که توپ هنگام افتادن انجام می‌دهد با کاری که برای بالا بردن توپ لازم می‌باشد، یکسان است.

بزرگی کار انجام شده هنگام بالا بردن توپ را می‌توان از ضرب کردن نیروی وزن توپ در بزرگی جابه‌جایی در راستای نیروی وزن به‌دست آورد.

m = جرم توپ

mg = وزن توپ = نیروی رو به پایین وارد بر توپ

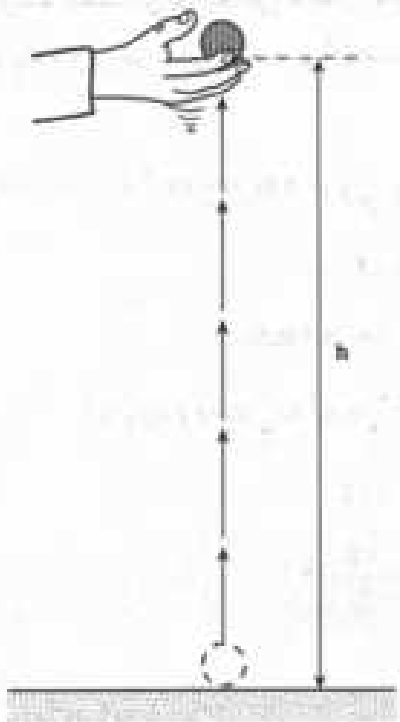
$-\vec{mg}$ = منهای وزن توپ = نیروی رو به بالای لازم برای بالا بردن توپ

و بزرگی نیروی وزن mg است.

h = جابه‌جایی توپ در راستای نیروی وزن

جابه‌جایی در راستای نیرو× نیرو = کار انجام شده برای بالا بردن توپ

بزرگی کار انجام شده برای بالا بردن توپ = mg × h = mgh



شکل ۷ــ۵ــ mgh = کار انجام شده از حاصل‌ضرب نیرو در جابه‌جایی به‌دست می‌آید.

بنابراین اگر جسمی به جرم m در ارتفاع h از سطح زمین قرار گیرد دارای انرژی پتانسیل گرانشی mgh خواهد بود.

در رابطه‌ی mgh، اگر جرم جسم برحسب کیلوگرم (kg) شتاب گرانشی (g) برحسب متر بر مجذور ثانیه $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ یا نیوتون بر کیلوگرم $\left(\frac{N}{kg}\right)$ و ارتفاع برحسب متر (m) باشد، انرژی پتانسیل گرانشی برحسب ژول (J) خواهد بود. توجه داشته باشید که انرژی یک کمیّت عددی است.

مثال: انرژی پتانسیل گرانشی توپی را که جرم آن ۰/۵ کیلوگرم است و در ارتفاع ۴ متری از سطح زمین قرار دارد حساب کنید. اگر ارتفاع دو برابر شود انرژی پتانسیل آن چقدر خواهد شد؟

حل:

$m = 0/5kg \ , \ g = 10\frac{N}{m} \ , \ h_1 = 4m$

$E_g = mgh$ = انرژی پتانسیل گرانشی

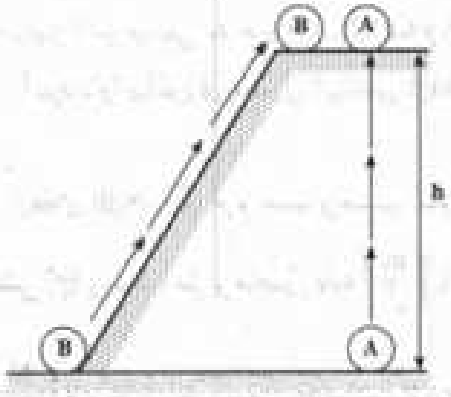
$E_1 = (0/5kg)(10\frac{N}{kg}) \times (4m) = 20Nm = 20J$

$h_2 = 8m$

$E_2 = mgh = (0/5kg)(10\frac{N}{kg})(8m) = 40Nm = 40J$

به شکل ۸ــ۵ توجه کنید. جرم دو جسم A و B مساوی است. جسم A در راستای قائم از سطح زمین به اندازه‌ی h بالا برده شده است. جسم B را از روی سطح شیب‌دار در راستای نشان داده شده به اندازه‌ی h بالا برده‌اند. مسلماً برای بالا بردن جسم B از نیروی کم‌تری استفاده شده است ولی باید توجه داشته باشید که مسافتی که جسم B طی کرده است بزرگ‌تر می‌باشد.

به هر حال کاری که برای بالا بردن دو جسم انجام شده، مساوی و برابر با mgh می‌باشد. برای محاسبه‌ی انرژی پتانسیل گرانشی دو جسم A و B کافی است، فقط ارتفاع قائم h را بدانیم و نیازی به دانستن مسیر طی شده و طول آن نداریم.



شکل ۸ــ۵ــ جرم A و B مساوی است. کار لازم برای بالا بردن A و B نیز با هم برابر است. انرژی پتانسیل گرانش A و B با هم مساوی است.

۱۳ــ۵ محاسبه‌ی انرژی جنبشی

در شکل ۹ــ۵ توپی نشان داده شده است که جرم آن m است. این توپ ابتدا ساکن است ($v_0 = 0$) و بعد با سرعت v بر تاب می‌شود. اگر از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم انرژی جنبشی توپ با کاری که انجام شده تا توپ سرعت v را به‌دست آورد برابر است.

شکل ۹ــ۵ــ جسمی با جرم m، وقتی با سرعت v در حرکت است، دارای انرژی جنبشی $\frac{1}{2}mv^2$ است.

برای این‌که توپ دارای سرعت v شود، با نیروی F توپ را به اندازه‌ی x در راستای نیروی F (نیرویی که دست بر توپ وارد می‌کند) جابه‌جا کرده‌ایم.

جابه‌جایی × نیرو = کار انجام شده توسط شخصی بر روی توپ

$$\text{کار انجام شده} = F \cdot x$$

انرژی جنبشی توپ = کار انجام شده

انرژی جنبشی توپ به دو عامل بستگی دارد. این دو عامل جرم توپ (m) و سرعت توپ (v) است. گفتیم دست ما نیروی F بر توپ وارد می‌کند، در اثر همین نیرو توپ شتاب a به‌دست می‌آورد. شتاب a از قانون دوّم نیوتون به‌دست می‌آید.

$$F = ma$$

با توجه به رابطه‌ی $v^2 - v_0^2 = 2ax$ و با توجه به این‌که $v_0 = 0$ است می‌توان نوشت:

$v^2 = 2ax$ بنابراین مقدار جابه‌جایی انجام شده برای به‌دست آمدن سرعت v محاسبه می‌شود.

$$x = \frac{v^2}{2a}$$

$$\text{کار انجام شده} = \text{انرژی جنبشی توپ} = F.x = ma \times \frac{v^2}{2a}$$

$$\text{انرژی جنبشی توپ} = \frac{1}{2}mv^2$$

نتیجه می‌گیریم که اگر جسمی به جرم m با سرعت v در حرکت باشد دارای انرژی جنبشی $\frac{1}{2}mv^2$ است.

اگر جرم جسم برحسب کیلوگرم (kg) و سرعت جسم برحسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$ بیان شود، انرژی جنبشی جسم برحسب ژول خواهد بود.

مثال: فرض کنید جسمی به جرم ۰/۵ کیلوگرم با سرعت ۴ m/s در حرکت است. انرژی جنبشی جسم را به‌دست آورید. اگر سرعت توپ دو برابر شود، انرژی جنبشی آن چند برابر خواهد شد؟

$$\text{انرژی جنبشی جسم} = E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(0/5\text{kg}) \times (4\frac{m}{s})^2$$

$$E_1 = 4\text{J}$$

$$v_2 = 2v_1 = 8\text{m/s}$$

$$E_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times (0/5\text{kg})(8)^2$$

$$E_2 = 16\text{J}$$

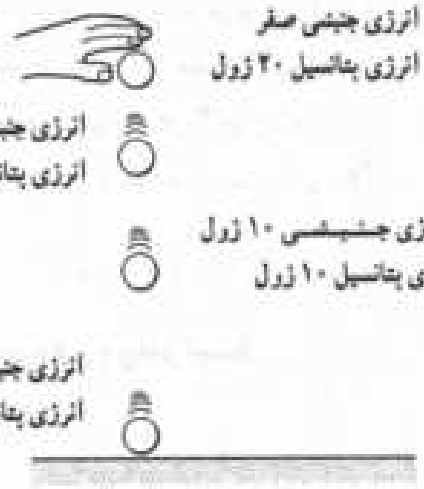
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{16}{4} = 4$$

۱۴ــ۵ تبدیل انرژی

شکل ۱۰ــ۵ توپی را نشان می‌دهد که در بالاترین

محل خود دارای ۲۰ ژول انرژی پتانسیل است. توپ از این محل سقوط می‌کند. در شکل مقادیر انرژی پتانسیل گرانشی و انرژی جنبشی آن در نقاط مختلف نشان داده شده است.

مطابق شکل ۱۰ـ۵ با پایین آمدن توپ مقدار انرژی پتانسیل گرانشی آن کم و مقدار انرژی جنبشی آن زیاد می‌شود. در بالاترین نقطه توپ فقط انرژی پتانسیل گرانشی دارد. لحظه‌ی رسیدن به‌سطح زمین توپ فقط انرژی جنبشی دارد. اگر از مقاومت هوا



شکل ۱۰ـ۵ـ تبدیل انرژی پتانسیل گرانشی به انرژی جنبشی

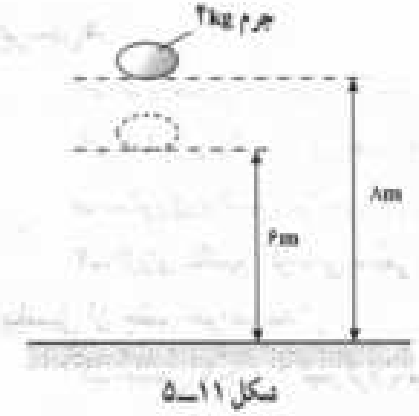
چشم‌پوشی کنیم، مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی توپ در تمام مسیر ۲۰ ژول است ثابت بودن ۲۰ ژول بیان‌گر پایستاری انرژی توپ است.

مثال: سنگی به جرم ۱۰ کیلوگرم در ارتفاع ۸ متر از زمین قرار دارد. اگر سنگ سقوط کند:

الف ـ انرژی جنبشی آن در ارتفاع ۶ متری از سطح زمین چقدر است؟

ب ـ سرعت سنگ در لحظه‌ی رسیدن به زمین چقدر خواهد بود؟ از مقاومت هوا چشم‌پوشی می‌شود؟

حل: توجه کنید که در حل این مسایل بلافاصله نباید از رابطه‌ی $E=\frac{1}{2}mv^2$ استفاده کنیم. بلکه بهتر آن است ابتدا تبدیل انرژی‌ها را مورد نظر قرار دهیم. در طول مدت سقوط سنگ انرژی جنبشی سنگ در هر نقطه برابر مقدار انرژی پتانسیلی است که سنگ نسبت به حالت اوّل از دست داده است. بنابراین به‌جای



شکل ۱۱ـ۵

محاسبه‌ی انرژی جنبشی خوب است تغییر انرژی پتانسیل را حساب کنیم.

سنگ به اندازه‌ی ۲ متر جابه‌جا شده است تغییر انرژی پتانسیل گرانشی در این دو متر را حساب می‌کنیم:

تغییر ارتفاع $= h = 2m$

تغییر انرژی پتانسیل گرانشی $= mgh = 10\times10\times2 = 200J$

تغییر انرژی پتانسیل گرانشی = انرژی جنبشی به‌دست آمده

نتیجه این‌که انرژی پتانسیل جسم در ارتفاع ۸ متری $mgh = 10\times10\times8 = 800J$ و انرژی جنبشی آن صفر است. پس از سقوط جسم تا ارتفاع ۶ متری انرژی پتانسیل آن به اندازه‌ی ۲۰۰ ژول کم و انرژی جنبشی آن به اندازه‌ی ۲۰۰ ژول اضافه شده است.

با دانستن جرم سنگ و انرژی جنبشی آن می‌توان سرعت سنگ را در مکان‌های متفاوت به‌دست آورد.

سرعت سنگ در ارتفاع ۶ متر چنین است:

$$E=\frac{1}{2}mv^2=200$$

$$\frac{1}{2}\times4\times v^2=200$$

$$v^2=100\rightarrow v=10m/s$$

در سطح زمین تمام انرژی پتانسیل گرانشی به انرژی جنبشی تبدیل شده است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{2}mv^2=800$$

$$\frac{1}{2}\times4\times v^2=800$$

$$v^2=400$$

$$v=\sqrt{400}=20m/s$$

پرسش‌ها

۱ـ جرم جسمی ۶ کیلوگرم است،

الف ـ انرژی پتانسیل این جسم به‌ترتیب در ارتفاع ۴ متر و ۸ متر بالاتر از سطح زمین چند ژول است؟

ب ـ انرژی پتانسیل گرانشی این جسم در چه ارتفاعی ۳۶۰ ژول می‌باشد؟

۲ـ انرژی پتانسیل گرانشی سنگی ۱۰۰ ژول است. اگر ارتفاع جسم نسبت به سطح زمین نصف شود، انرژی پتانسیل آن چقدر خواهد شد؟

۳ـ جسمی با جرم ۶ کیلوگرم با سرعت ۵ m/s در حرکت است. انرژی جنبشی جسم چقدر است؟ اگر سرعت جسم دو برابر شود انرژی جنبشی آن چند برابر می‌شود؟

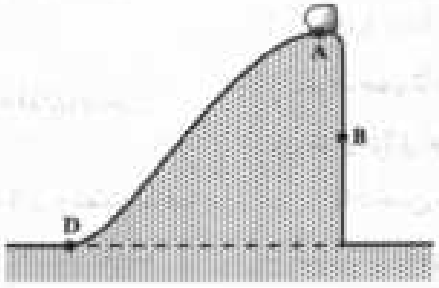
۴ـ توپی به جرم ۰/۵ کیلوگرم دارای انرژی جنبشی ۱۰۰ ژول است. سرعت توپ چند متر بر ثانیه است؟

۵ـ جسمی به جرم ۲/۵ کیلوگرم با نیروی ۵ نیوتون بر روی میز کشیده می‌شود. اگر مسافت طی شده در راستای نیرو ۲ متر باشد کار انجام شده چقدر است؟ انرژی جنبشی و سرعت جسم پس از طی ۲ متر چقدر است؟

۶ـ جرم سنگی ۲ کیلوگرم است. این سنگ از روی سطح شیب‌دار از نقطه‌ی D تا A بالا برده می‌شود. اگر کار انجام شده برای بالا بردن سنگ ۲۷ ژول باشد:

الف ـ انرژی پتانسیل سنگ در نقطه‌ی A چقدر است؟

ب ـ اگر سنگ سقوط کند، انرژی پتانسیل آن در نقطه‌ی B واقع در نیمه‌ی راه چقدر است؟



شکل ۱۲ـ۵

ب ـ انرژی جنبشی سنگ در نقطه‌ی B چقدر است؟

ت ـ سرعت سنگ در لحظه‌ی عبور از B چقدر است؟

ث ـ سرعت سنگ در لحظه‌ی برخورد با زمین چقدر است؟

۷ـ جرم توپی ۰/۵ کیلوگرم است. وقتی توپ را از بالای صخره‌ای در دریا رها می‌کنیم با سرعت ۱۰ m/s به سطح آب می‌رسد:

الف ـ انرژی جنبشی توپ در لحظه‌ی برخورد به آب چقدر است؟

ب ـ انرژی پتانسیل آن قبل از رها شدن چقدر بوده است؟

پ ـ توپ از چه ارتفاعی رها شده است؟

فصل ۶

چگالی، فشار

۱ـ۶ چگالی

سرب سنگین‌تر است یا آب؟ پاسخ دادن به این پرسش ممکن نیست، مگر این که بدانیم چه حجمی از این دو ماده باهم مقایسه می‌شوند. سخن درست این است که بگوییم چگالی سرب از چگالی آب بیش‌تر است. بنابراین باید گفت، سرب چگال‌تر از آب است.

به شکل ۱ـ۶ نگاه کنید. در این شکل جرم قطعه سرب از جرم آب موجود در ظرف کم‌تر است. ولی گفته می‌شود چگالی سرب از چگالی آب بیش‌تر است.

چگالی را از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آورند:

$$\text{چگالی یک جسم} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}} \quad (\text{جرم یک مترمکعب از جسم})$$

اگر جرم جسم را برحسب کیلوگرم (kg) و حجم آن را برحسب مترمکعب (m^3) اندازه بگیریم چگالی آن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3) به دست خواهد آمد.

اندازه‌گیری حجم‌های متفاوتی از آب نشان می‌دهد که:

جرم یک مترمکعب آب، ($1m^3$)، هزار کیلوگرم ($1000kg$) است.

جرم دو مترمکعب آب، ($2m^3$)، دوهزار کیلوگرم ($2000kg$) است.

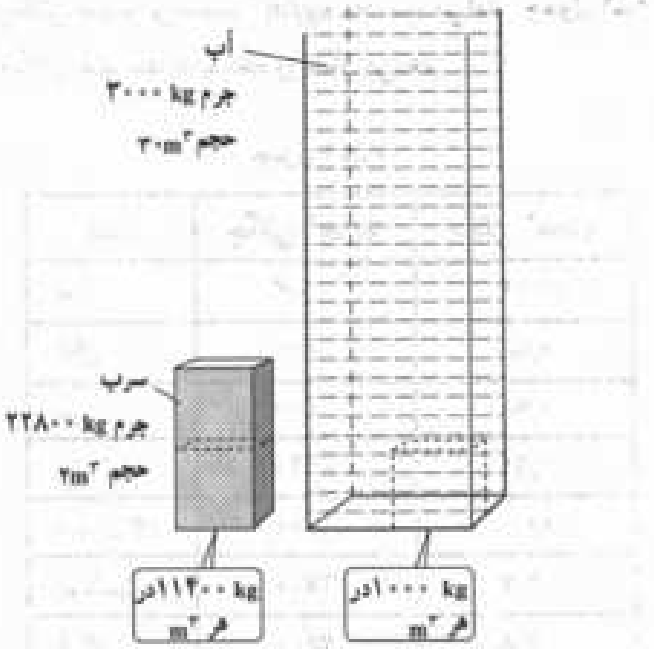
جرم سه مترمکعب آب، ($3m^3$)، سه هزار کیلوگرم ($3000kg$) است.

اندازه‌گیری حجم‌های متفاوتی از سرب نشان می‌دهد که:

جرم یک مترمکعب ($1m^3$) سرب، ۱۱۴۰۰ کیلوگرم ($11400kg$) است.

جرم دو مترمکعب ($2m^3$) سرب، ۲۲۸۰۰ کیلوگرم ($22800kg$) است.

جرم سه مترمکعب ($3m^3$) سرب، ۳۴۲۰۰ کیلوگرم ($34200kg$) است.



شکل ۱ـ۶ـ در این شکل جرم آب از جرم سرب کم‌تر است. ولی جرم یک مترمکعب سرب، از جرم یک مترمکعب آب بیش‌تر می‌باشد. یعنی این که چگالی سرب از چگالی آب بیش‌تر است.

اگر جرم و حجم‌ها را در رابطه‌ی تعیین چگالی قرار دهیم چگالی آب $1000kg/m^3$ و چگالی سرب $11400kg/m^3$ به‌دست می‌آید.

معلوم می‌شود که جرم یک مترمکعب سرب ۱۱/۴ بار از جرم یک مترمکعب آب بیش‌تر است لذا گفته می‌شود که سرب چگال‌تر از آب است.

در جدول ۱ـ۶ چگالی چند ماده داده شده است و خوب است بدانیم که چگالی مواد با تغییر دمای آن‌ها تغییر می‌کند. اگر جسمی را گرم کنیم جرم آن ثابت می‌ماند ولی حجم آن افزایش

پیدا می‌کند. در نتیجه‌ی افزایش حجم، چگالی ماده کم‌تر می‌شود.

یکای چگالی در SI برحسب kg/m^3 است ولی اگر جرم جسم را برحسب گرم (g) و حجم جسم را برحسب سانتی‌مترمکعب (cm^3) اندازه بگیریم چگالی جسم برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب (g/cm^3) به‌دست می‌آید. در گذشته جرم هزار سانتی‌مترمکعب آب $4^\circ C$ را $1000\ g$، می‌نامیدند. اگر چگالی ماده‌ای برحسب g/cm^3 معلوم باشد، با ضرب کردن این مقدار در عدد ۱۰۰۰ چگالی جسم برحسب kg/m^3 به‌دست می‌آید. جدول ۱ــ۶ چگالی چند ماده داده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱ ــ ۶

ماده	چگالی kg/m^3	چگالی g/cm^3
هوا	۱/۳	۰/۰۰۱۳
الکل	۸۰۰	۰/۸۰
بنزین	۸۰۰	۰/۸۰
یخ ($0^\circ C$)	۹۲۰	۰/۹۲
آب ($4^\circ C$)	۱۰۰۰	۱/۰۰
آلومینیم	۲۷۰۰	۲/۷
فولاد	۷۸۰۰	۷/۸
سرب	۱۱۴۰۰	۱۱/۳
جیوه	۱۳۶۰۰	۱۳/۶
طلا	۱۹۳۰۰	۱۹/۳

معمولاً چگالی را با حرف یونانی ρ (رو) نشان می‌دهند و رابطه‌ی تعیین چگالی را به‌صورت زیر می‌نویسند:

$$\rho\ (\text{چگالی ماده}) = \frac{m\ (\text{جرم ماده})}{V\ (\text{حجم ماده})}$$

مثال ۱: جرم چهار لیتر[1] آب، بنزین و الکل را حساب کنید.

مثال ۲: با استفاده از جدول، جرم مقدار فولادی را به‌دست آورید که حجم آن با حجم ۵۴۰۰ کیلوگرم آلومینیم برابر است.

حل: ابتدا حجم فولاد را تعیین می‌کنیم.

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

طبق جدول، چگالی آلومینیوم $2700\ kg/m^3$ است. پس داریم:

$$V = \frac{5400\ kg}{2700\ kg/m^3} = 2\ m^3$$

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

طبق جدول، چگالی فولاد $7800\ kg/m^3$ است. بنابراین

$$m = (7800\ kg/m^3)(2\ m^3) = 15600\ kg$$

۲ــ۶ چگالی نسبی

چگالی نسبی یک ماده نشان‌دهنده‌ی آن است که این ماده چند بار از آب چگال‌تر است.

برای تعیین چگالی نسبی، جسم مشخصی را انتخاب می‌کنند، اگر جرم این مقدار ماده را بر جرم همین مقدار آب تقسیم کنیم، چگالی نسبی آن ماده به‌دست می‌آید. چگالی نسبی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی ماده}}{\text{چگالی آب}} = \frac{\text{جرم ماده}}{\text{جرم آب هم‌حجم ماده}}$$

توجه کنید که، چگالی نسبی تنها با اندازه‌گیری جرم‌ها به‌دست می‌آید.

۳ــ۶ تُنگ چگالی

به شکل ۲ــ۶ توجه کنید. تنگ نشان‌داده شده، تنگ چگالی

شکل ۲ــ۶ــ تنگ چگالی

۱ــ $1\ Li = 10^{-3}\ m^3 = 10^3\ cm^3$

نام دارد. از این تنگ برای به‌دست آوردن چگالی نسبی مایعات استفاده می‌شود. در میان دریوش این تنگ سوراخی وجود دارد. اگر دریوش را درجای خود قرار دهیم، مایع اضافی از سوراخ دریوش خارج می‌شود. به این ترتیب مایع داخل تنگ با حجم خود تنگ کاملاً مساوی می‌گردد. برای تعیین چگالی نسبی یک مایع، ابتدا جرم تنگ خالی را تعیین می‌کنند (m_1) بعد جرم تنگ پر از آب را به‌دست می‌آورند (m_2) سپس جرم تنگ پر از مایع مورد نظر را اندازه می‌گیرند. (m_3)

به این ترتیب از ($m_2 - m_1$) جرم مایع و ($m_3 - m_1$) جرم آب هم‌حجم مایع به‌دست می‌آید. از تقسیم جرم مایع بر جرم آب هم‌حجم مایع، نسبی چگالی مایع حاصل می‌شود. در صورتی که می‌دانیم چگالی آب یک گرم بر سانتیمتر مکعب است.

مثال: با استفاده از شکل ۳ـ۶ و مقادیر داده شده، چگالی نسبی، مایع موجود در داخل تنگ چقدر است.

جرم تنگ و آب g ۵۰/۱ | جرم تنگ خالی g ۲۰/۱ | جرم تنگ و الکل g ۴۴/۱

شکل ۳ـ۶

حل: توجه داشته باشید که چگالی نسبی یک عدد است و یکا ندارد.

$$\text{چگالی نسبی مایع} = \frac{\text{جرم مایع}}{\text{جرم آب هم‌حجم مایع}}$$

$$= \frac{(۴۴/۱ - ۲۰/۱)g}{(۵۰/۱ - ۲۰/۱)g} = \frac{۲۴/۰g}{۳۰/۰۰g} = ۰/۸$$

پرسش‌ها

برای پاسخ دادن به پرسش‌ها، در مواقع لازم از جدول چگالی‌ها استفاده کنید.

۱ـ گفته می‌شود که چگالی آب $1000 kg/m^3$ است، مفهوم این مطلب چیست؟ چگالی آب برحسب g/cm^3 چقدر است؟

۲ـ چگالی نسبی جیوه را به‌دست آورید.

۳ـ یک جسم جامد کوچک، شکل نامنظمی دارد و در آب شناور می‌ماند، چگونه می‌توانید چگالی آن را اندازه بگیرید؟

۴ـ تنگ چگالی چه کاربرد و چه مزیّتی دارد؟

۵ـ حجم kg ۲۲۴۰۰ بنزین را به‌دست آورید.

۶ـ جرم هوای یک اتاق با ابعاد $5m \times 10m \times 10m$ چند کیلوگرم است؟

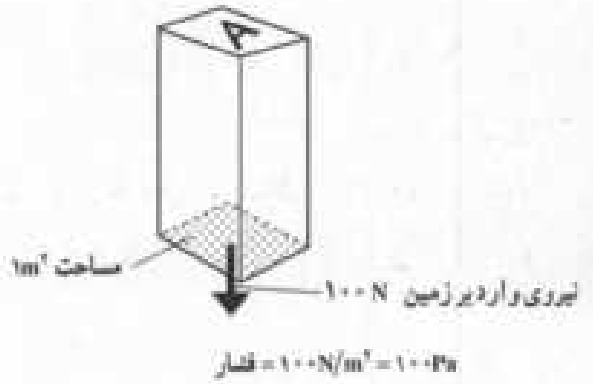
۷ـ جرم سرب هم‌حجم ۱۶۰۰ کیلوگرم بنزین چقدر است؟

۸ـ جرم یک تنگ چگالی ۲۵ گرم، جرم تنگ پُر از آب ۵۰ گرم و جرم پراز مایع آن ۴۵ گرم است.
الف ـ چگالی نسبی مایع را به‌دست آورید.
ب ـ چگالی مایع را به‌دست آورید.

۴ـ۶ فشار

وقتی نیرویی بر سطحی وارد می‌شود این نیرو بر سراسر سطح اثر می‌کند.

دو جسم A و B در شکل ۴ـ۶ نشان داده شده‌اند. وزن این‌دو باهم برابر است، به عبارت دیگر نیرویی که این دو جسم بر سطح زمین وارد می‌کنند با یکدیگر برابر است. نیروی وزن جسم B بر سطح بزرگ‌تری وارد می‌شود، درنتیجه نیرویی که جسم B بر یک متر مربع از سطح زمین وارد می‌کند کم‌تر است لذا می‌گوییم جسم B فشار کم‌تری بر زمین وارد می‌کند.



شکل ۴ـ۶

فشار وارد بر سطح از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

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

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

اگر نیرو را برحسب نیوتون (N) و مساحت را برحسب مترمربع (m^2) اندازه بگیریم، فشار برحسب نیوتون بر مترمربع (N/m^2) به‌دست می‌آید. نیوتون بر مترمربع را پاسکال نیز می‌گویند و آن را با Pa نشان می‌دهند.

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

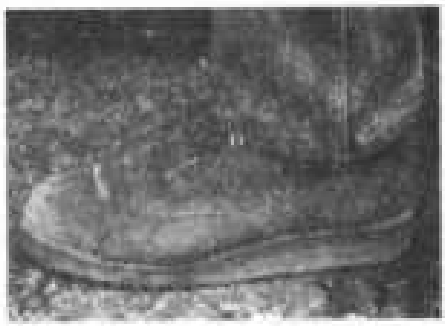
بنابراین اگر نیروی ۱۰۰ N بر سطح $1m^2$ اثر کند، فشار وارد بر سطح ۱۰۰ Pa است.

اگر نیروی ۱۰۰ N بر سطح $2m^2$ اثر کند فشار وارد بر سطح ۵۰ Pa است.

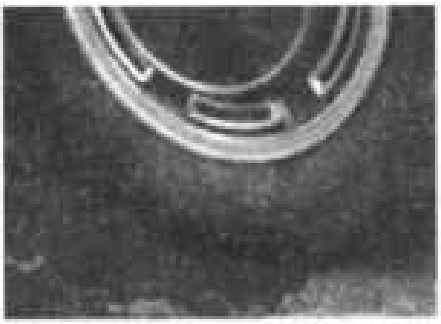
اگر نیروی ۱۰۰ N بر سطح $0/2m^2$ اثر کند فشار وارد بر سطح ۵۰۰ Pa است.

اگر نیروی ۱۰۰ N بر سطح $0/02m^2$ اثر کند فشار وارد بر سطح ۵۰۰۰ Pa است.

بنابراین هرچه نیرو بزرگ‌تر شود و مساحت سطح کوچک‌تر گردد، فشار حاصل بیش‌تر و بیش‌تر خواهد بود. به شکل‌های ۵ـ۶ توجه کنید. شما روزانه این چنین فشارهایی را مشاهده می‌کنید. فروکردن یک پونز بر سطح یک چوب به راحتی انجام می‌شود، زیرا مساحت نوک تیز پونز بسیار کم و فشار حاصل بسیار زیاد است. پاشنه‌ی کفش‌های پاشنه بلند نیز فشار بسیار زیادی بر سطح وارد می‌کنند.

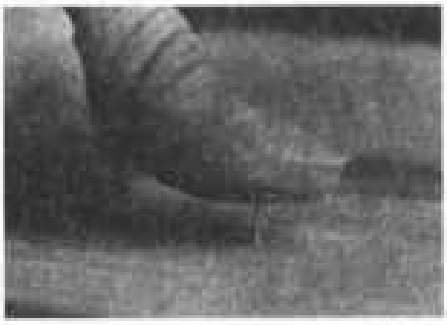


فشار ۲۰ kPa



فشار ۲۰۰ kPa

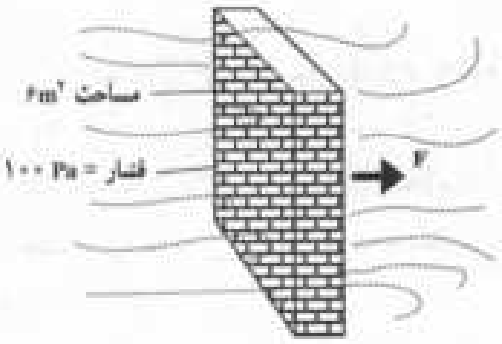
فشار ۲۰۰۰ kPa



فشار ۵۰۰۰,۰۰۰ kPa

شکل ۶ـ۶

مثال ۱: متوسط فشاری که باد هنگام وزیدن، به دیوار نشان داده شده وارد می‌کند ۱۰۰ پاسکال است، نیرویی که بر سطح این دیوار وارد می‌شود چند نیوتون است؟



شکل ۶ـ۶

حل:

$$P=\frac{F}{A}\Rightarrow F=PA$$

$$F=(۱۰۰\frac{N}{m^۲})(۶m^۲)=۶۰۰N$$

مثال ۲: مطابق شکل ۶ـ۶ بلوک سیمانی با ابعاد $۰/۵m\times۱m\times۲m$ و جرم ۲۶۰۰ kg موجود است. پیشینه فشاری که این بلوک بر زمین وارد می‌کند چقدر است؟

$$g=۱۰\frac{N}{kg}$$

حل: بلوک سیمانی وقتی پیشینه فشار را وارد می‌کند که مطابق شکل بر روی کوچک‌ترین سطح خود قرار می‌گیرد.

$$\text{وزن بلوک سیمانی} = W=mg$$

$$=۲۶۰۰kg\times۱۰\frac{N}{kg}=۲۶۰۰۰N$$

$$\text{مساحت کوچک‌ترین سطح بلوک} = A=۰/۵m\times۱m$$

$$=۰/۵m^۲$$

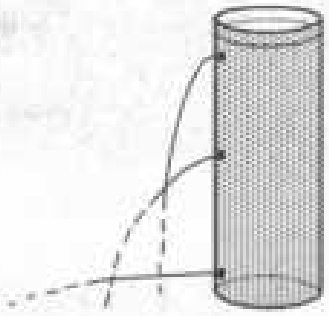
$$\text{فشار} = P=\frac{F}{A}=\frac{\text{نیرو}}{\text{مساحت}}$$

$$=\frac{۲۶۰۰۰N}{۰/۵m^۲}=۵۲۰۰۰Pa$$

۶ـ۵ فشار مایعات

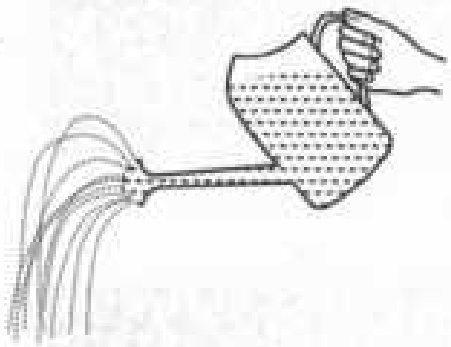
وزن مایع، مایع داخل ظرفی را پایین می‌کشد، در نتیجه

نیروی وزن مایع، به ظرف و اشیاء داخل آن فشار وارد می‌شود.

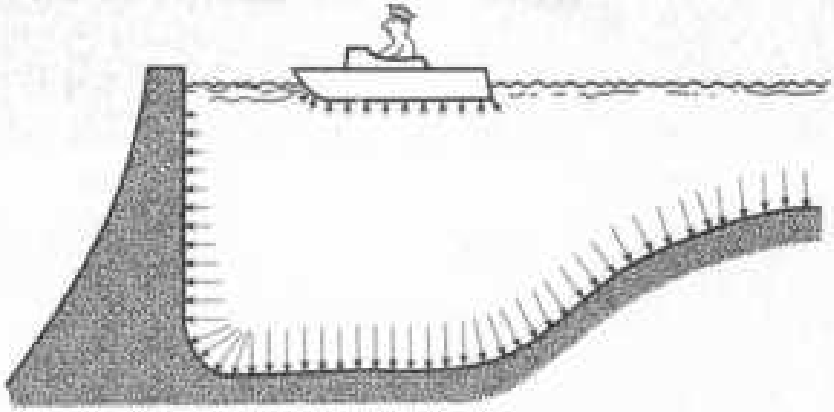


شکل ۷ــ۶ــ الف ــ فشار با تغییر ارتفاع تغییر می‌کند.

فشاری که مایعات ایجاد می‌کنند ویژگی‌هایی دارد. برخی از این ویژگی‌ها را بیان می‌کنیم:



شکل ۷ ــ۶ــ ب ــ فشار در همه جهت‌ها وارد می‌شود.



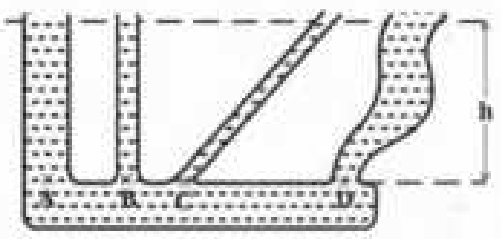
شکل ۸ ــ۶ ــ فشار در همه‌جهت‌ها وارد می‌شود.
فشار با افزایش عمق بیشتر می‌شود.

فشار در همه‌ی جهت‌ها وارد می‌شود: اگر فشاری بر مایع وارد شود، این فشار، عیناً به هر سطحی که با مایع تماس دارد، منتقل می‌شود. فشار وارده، به شکل سطح بستگی ندارد.

فشار مایعات به عمق مایع بستگی دارد: در داخل مایع، در هر نقطه‌ای که عمق مایع بیش‌تر است، وزن مایع بالای آن نقطه نیز بیش‌تر می‌باشد، بنابراین فشار حاصل از آن نیز بیش‌تر می‌باشد. به همین علت دیواره‌ی سدها را در پایین سد قطورتر می‌سازند تا دیواره‌ی سد بتواند فشار زیاد آب را در پایین سد تحمل کند.

فشار به جگالی مایع بستگی دارد: اگر استخر یا ظرفی را به‌جای آب با مایعی که جگالی آن کم‌تر از آب است، پر کنیم، فشاری که آن مایع بر کف استخر یا ظرف وارد می‌کند کم‌تر خواهد شد.

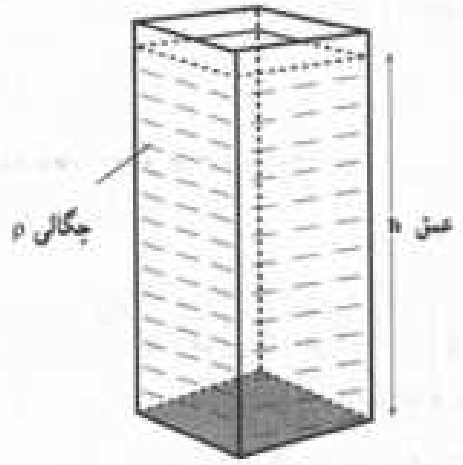
فشار به شکل ظرف بستگی ندارد: به ظرف زیر توجه کنید، ارتفاع مایع (h) در هر چهار شاخه یکسان است، در نقاط، A ، B ، C و D با این که شکل و قطر شاخه‌ها متفاوت است ولی فشار یکسان می‌باشد. این ظرف را ظرف پاسکال یا ظروف مرتبطه می‌گویند.



شکل ۹ــ۶ــ فشار در نقاط A ، B ، C ، D مساوی است.
زیرا که h و ρ برای آنها برابر است.

اگر چگالی یک مایع و عمق نقطه‌ای از آن را بدانیم، می‌توانیم فشار موجود در آن نقطه را به‌دست آوریم.

فرض کنید، مساحت قاعده مکعب مستطیل نشان داده شده در شکل، A است این مکعب مستطیل را تا ارتفاع h با مایعی به چگالی ρ پر می‌کنیم. برای این که فشار وارد بر کف این مکعب را به‌دست آوریم، ابتدا وزن مایع داخل آن را تعیین می‌کنیم.



شکل ۱۰ـ۶ ـ فشار در هر نقطه از مایع روباز از رابطه‌ی $P = \rho gh$ به‌دست می‌آید.

$$\text{حجم مایع} = \text{مساحت قاعده} \times \text{عمق} = Ah$$

$$\text{جرم مایع} = \text{چگالی} \times \text{حجم مایع} = \rho Ah$$

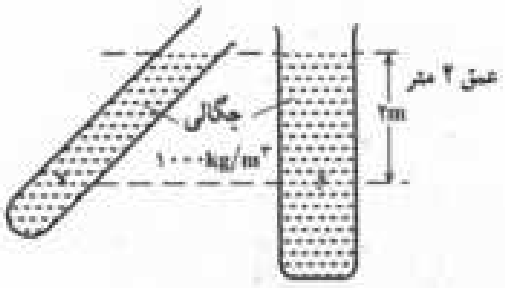
$$\text{وزن مایع} = \text{جرم} \times g = \rho Ahg$$ نیرویی که مایع بر کف ظرف وارد می‌کند

$$\text{فشار} = P = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh$$

توجه کنید که در معادله‌ی تعیین فشار وارد بر قاعده‌ی ظرف، مساحت قاعده وجود ندارد. نتیجه می‌گیریم که: در نقطه‌ای به عمق h در داخل مایعی با چگالی ρ، فشار مایع از رابطه ρgh به‌دست می‌آید.

به شکل ۱۱ـ۶ توجه کنید. فشار آب در عمق دو متری در دو نقطه‌ی x و y با یکدیگر مساوی و برابر با ۲۰۰۰ پاسکال است.

$$P = \rho gh = ۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳} \times ۱۰ \times ۲m = ۲۰۰۰۰Pa$$



شکل ۱۱ـ۶

۶ـ۶ ماشین‌های هیدرولیکی

دستگاه‌های هیدرولیکی با مایعات تحت فشار کار می‌کنند. در این دستگاه‌ها از دو ویژگی مایعات استفاده می‌شود.

۱ـ مایعات متراکم نمی‌شوند. یعنی اینکه حجم آنها کم‌تر نمی‌شود.

۲ـ فشار وارد بر مایع داخل یک ظرف عیناً به تمام قسمت‌های مایع منتقل می‌شود.

شکل ۱۲ـ۶ یک جک هیدرولیکی ساده را نشان می‌دهد. در این دستگاه ما یک پیستون کوچک را به پایین فشار می‌دهیم، در نتیجه روغن در لوله‌ها حرکت می‌کند و پیستون بزرگ را بالا می‌برد. این دستگاه این ویژگی بسیار مهم را دارد که یک نیروی کوچک رو به پایین وارد بر پیستون کوچک فشاری ایجاد می‌کند و این فشار به‌وسیله‌ی روغن عیناً به سطح بزرگ‌تر پیستون ظرف دیگر وارد می‌شود. و این فشار نیروی بزرگ و رو به بالایی را تولید می‌کند.

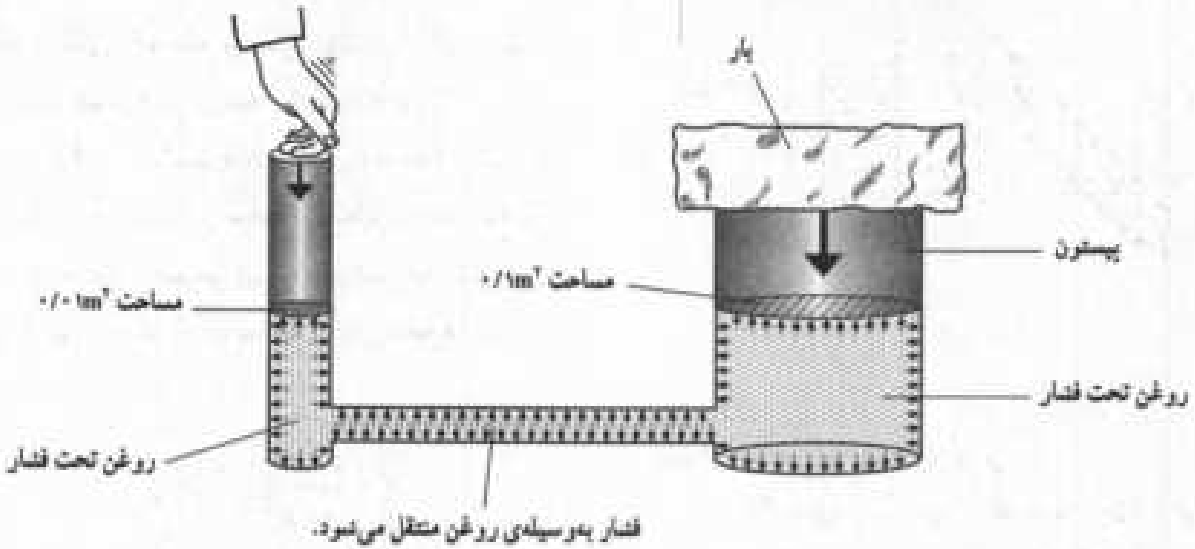
فرض کنید در شکل نشان داده شده یک نیروی ۱۲N بر پیستون کوچک اعمال می‌شود.

با توجه به این‌که مساحت پیستون کوچک $۰/۰۱m^۲$ است، فشار وارد بر مایع از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{۱۲N}{۰/۰۱m^۲} = ۱۲۰۰\frac{N}{m^۲}(Pa)$$

این فشار به کمک روغن به پیستون بزرگ با مساحت $۰/۱m^۲$ اثر می‌کند، در نتیجه نیرویی که هر بار موجود بر روی پیستون بزرگ‌تر وارد می‌شود چنین است:

$$F_۲ = PA_۲$$



شکل ۱۲ــ۶ــ فشار وارد بر پیستون کوچک عیناً به پیستون بزرگ منتقل می‌شود. چون مساحت پیستون بزرگ، بیشتر است نیروی بزرگتری بر آن وارد می‌شود و بار سنگین بالا می‌رود.

نیروی وارد بر پیستون بزرگ‌تر $= F_2 = ۱۲۰ \times (\frac{N}{m^2}) \times ۰/۱(m^2)$

$F_2 = ۱۲۰N$

بنابراین با فرض ناچیز بودن اصطکاک با استفاده از یک نیروی کوچک ۱۲ نیوتونی باری به وزن ۱۲۰ نیوتون بلند می‌شود. از فشار هیدرولیکی در سیستم ترمز اتومبیل‌ها استفاده می‌شود.

هنگامی که بر پدال ترمز فشار وارد می‌کنید، یک پیستون کوچک، در داخل استوانه‌ی اصلی، روغن ترمز را از طریق لوله‌های باریک به‌طرف چرخها می‌فرستد. در هر چرخ، روغن ترمز تحت فشار پیستون استوانه‌ی فرعی را می‌فشارد و پیستون نیز لنت‌های ترمز را به دیسک چرخ می‌چسباند.

پرسش‌ها

۱ــ وقتی می‌گویند فشار وارد بر یک سطح ۱۰ پاسکال است، یعنی چه؟

۲ــ وقتی پای برهنه بر روی سنگ‌ریزه‌ها راه می‌روید، پای شما درد خیلی زیادی را تحمل می‌کند، در صورتی که راه رفتن بر روی ماسه‌ی نرم این چنین نیست. چرا؟

۳ــ بر سطحی به مساحت ۴ مترمربع نیروی ۲۰۰ نیوتون اثر می‌کند، فشاری که بر این سطح وارد می‌شود چقدر است؟ اگر نیرو ثابت بماند و مساحت سطح نصف شود، فشار وارده چقدر خواهد شد؟

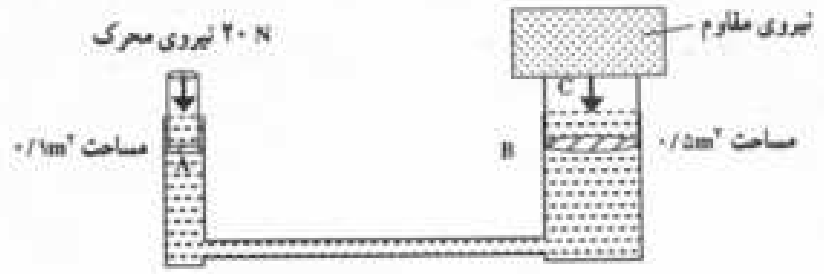
۴ــ سطحی به مساحت $۰/۲m^2$ فشار ۱۰۰۰ پاسکال را تحمل می‌کند، نیرویی که بر این سطح وارد می‌شود چقدر است؟

۵ــ یک مکعب مستطیل با ابعاد $۰/۱m \times ۰/۴ \times ۱/۵m$ به جرم ۳۰ کیلوگرم موجود است. با رسم شکل حالت‌هایی را نشان دهید که این مکعب مستطیل بیش‌ترین و کم‌ترین فشار را به سطح زمین وارد می‌کند.

بزرگی فشار را در هر یک از دو حالت فوق به‌دست آورید.

۶ــ مخزنی به شکل مکعب مستطیل با طول و عرض و ارتفاع، دو، سه و چهار متر، با پارافین پر شده است. اگر چگالی پارافین $۸۰۰kg/m^3$ باشد، فشاری که بر کف مخزن وارد می‌شود چقدر است؟

۷ــ در شکل ۱۳ــ۶ یک جک هیدرولیکی ساده نشان داده شده است. اگر نیروی ۲۰ نیوتون بر پیستون کوچک وارد شود، فشار در قسمت A چقدر خواهد بود؟ فشار در قسمت B چقدر است؟ نیروی بالارانی که بر پیستون بزرگ‌تر وارد می‌شود چقدر است؟



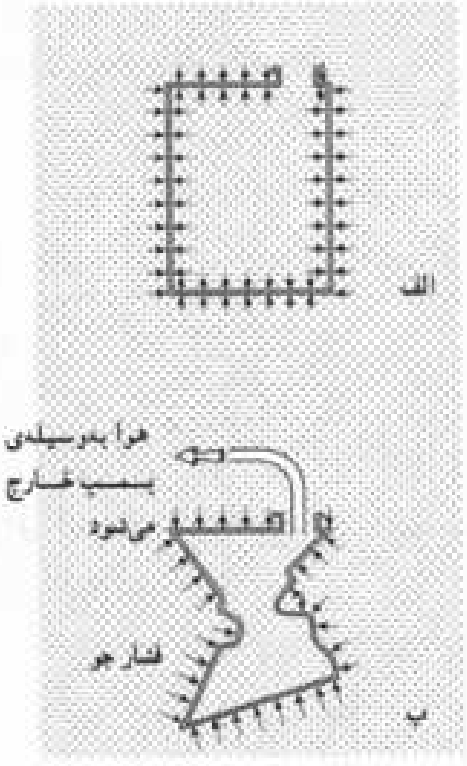
شکل ۱۳ــ۶

۷ــ۶ فشار جوّ

ما در عمق اقیانوسی از هوا زندگی می‌کنیم، که آن را اتمسفر یا جوّ نام‌گذاری کرده‌اند، اگرچه هوا ماده‌ای خیلی چگال نیست ولی فشار زیادی بر اشیاء وارد می‌کند.

از برخی جهت‌ها جوّ مانند یک مایع عمل می‌کند. فشار جوّ در تمام جهات اعمال می‌شود. در داخل جو، هرچه بالاتر می‌رویم فشاری که ایجاد می‌کند کم‌تر می‌شود. برخلاف مایعات که چگالی یکنواختی دارند، چگالی جو در قسمت‌های نزدیک به زمین بیش‌تر است. جو زمین تا صدها کیلومتر ادامه دارد ولی قسمت اعظم آن در فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری قرار دارد. فشار جو یا فشار هوای بالای زمین در سطح دریاها تقریباً $۱۰۰۰۰۰ \frac{N}{m^۲}$ یا ۱۰۰۰۰۰Pa است. فشار جو، برابر فشاری است که وزن ده اتومبیل بر یک مترمربع وارد می‌کنند. با استفاده از یک قوطی حلبی می‌توان فشار جو را نشان داد. وقتی قوطی حلبی خالی است و درب آن باز است، در داخل و خارج آن هوا وجود دارد. در نتیجه فشار هوا در داخل و خارج آن در حالت تعادل قرار دارد. اگر در قوطی را ببندیم، هوای داخل آن را خارج کنیم، بدنه‌ی قوطی فرو می‌رود. علت فرو رفتن بدنه‌ی قوطی، وجود فشار جوّ در خارج قوطی است.

چرا با وجود فشار جو بدن ما درهم نمی‌شکند؟ زیرا خون موجود در رگ‌های ما فشاری دارد که از فشار جو بیش‌تر است.



هوای داخل قوطی حلبی را تخلیه کرده‌ایم، فشار جو آن‌را مچاله می‌کند.

شکل ۱۴ــ۶

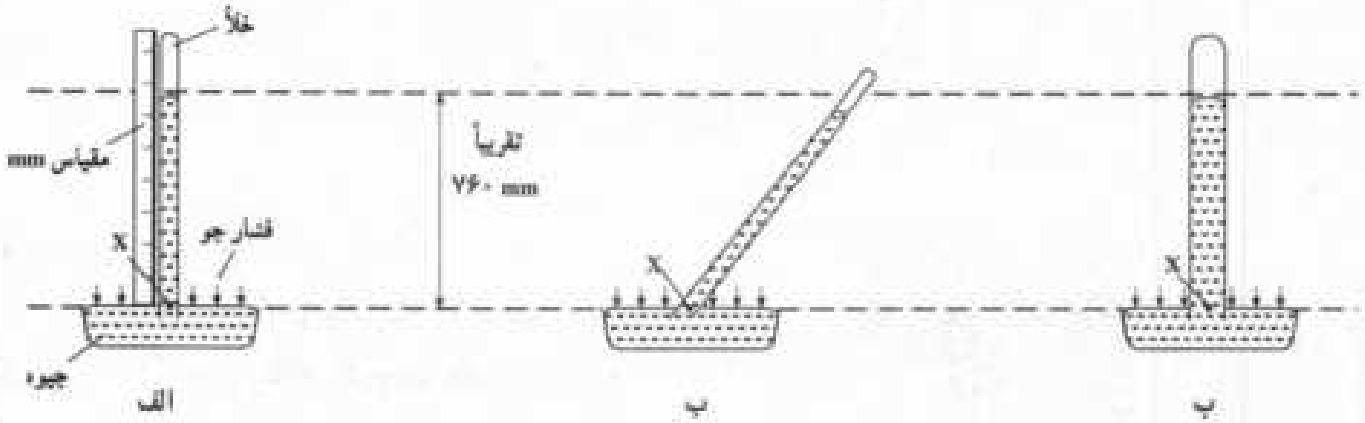
اگر با اتومبیل از تپه‌ای بالا برویم، به علت کم‌تر بودن فشار جو در بالای تپه، در گوش‌هایمان احساس ناراحتی می‌کنیم.

۸ــ۶ جوسنج جیوه‌ای

وسیله‌ای که فشار جو را اندازه می‌گیرد جوسنج یا بارومتر نام دارد. در شکل ۱۵ــ۶ یک جوسنج جیوه‌ای نشان داده شده

است. این نوع جوسنج‌ها از لوله‌ای که یک سر آن باز است درست شده است. اگر لوله را با جیوه پر کنیم و آن را برروی ظرف محتوی جیوه برگردانیم، جیوه‌ی داخل لوله آن‌قدر پایین می‌آید که در نقطه‌ای مانند X فشاری که بر اثر وزن آن در لوله ایجاد می‌شود با فشار جو برابر گردد. در این‌حالت ارتفاع جیوه در داخل لوله به حالت تعادل درمی‌آید. توجه داشته باشید که فضای بالای جیوه‌ی موجود در لوله خلأ است، به عبارت دیگر در این محل مادّه‌ای وجود ندارد.

اگر به هر دلیلی فشار جو بیش‌تر شود، مقداری از جیوه‌ی موجود در ظرف به داخل لوله وارد می‌شود و ارتفاع ستون جیوه بیش‌تر می‌گردد. برعکس، اگر فشار جو کم‌تر شود مقداری از جیوه‌ی داخل لوله به داخل ظرف می‌رود و ارتفاع ستون جیوه کم‌تر می‌گردد. بدین ترتیب در هر لحظه، ارتفاع ستون جیوه مشخص‌کننده‌ی فشار جو است.



شکل ۱۵ــ۶ــ در جوسنج جیوه‌ای، ارتفاع جیوه به قطر و انحراف آن از وضع قائم بستگی ندارد.

اگر لوله‌ی شیشه‌ای را خم کنیم، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند، تغییر قطر لوله نیز در ارتفاع ستون جیوه اثر ندارد. قبلاً هم گفتیم که فشار مایع به شکل و قطر ظرف بستگی ندارد.

برای راحتی کار، معمولاً فشار جو را برحسب میلی‌متر جیوه بیان می‌کنند فشار جو در کنار دریا معمولاً ۷۶۰ میلی‌متر جیوه است. (۷۶۰mmHg) باید توجه کرد که فشار جو با تغییر شرایط جوّی تغییر می‌کند.

۹ــ۶ فشار جوّ استاندارد

فشار ۷۶۰mmHg را فشار جو استاندارد یا یک اتمسفر (۱atm) می‌گویند.

برای به‌دست آوردن فشار جو استاندارد برحسب پاسکال، فشاری را که ستون جیوه‌ای به ارتفاع ۷۶۰mm ایجاد می‌کند حساب می‌کنیم :

$$P = \rho gh \quad \text{(فشار)}$$

در این رابطه هر چگالی جیوه، برابر با $\rho = ۱۳۵۹۰ \frac{kg}{m^۳}$، $g = ۹/۸۱ \frac{N}{kg}$ و h ارتفاع ستون جیوه برحسب متر است.

$$h = ۷۶۰mm \quad , \quad h = ۰/۷۶۰m$$

$$P = ۱۳۵۹۰ \frac{kg}{m^۳} \times ۹/۸۱ \frac{N}{kg} \times ۰/۷۶۰m$$

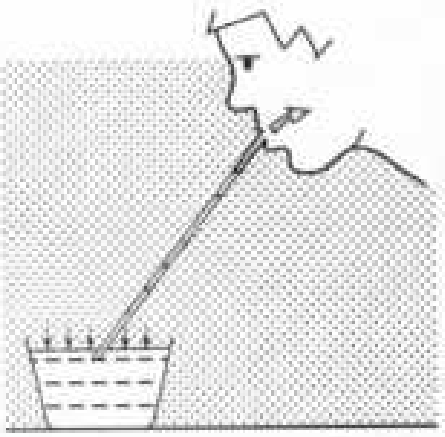
$$P = ۱۰۱۳۰۰ \frac{N}{m^۲} (Pa)$$

بنابراین فشار جو استاندارد یعنی فشاری که ۷۶۰mmHg ایجاد می‌کند ۱۰۱۳۰۰ Pa است که آن را یک جو یا یک اتمسفر (۱atm) می‌گویند.

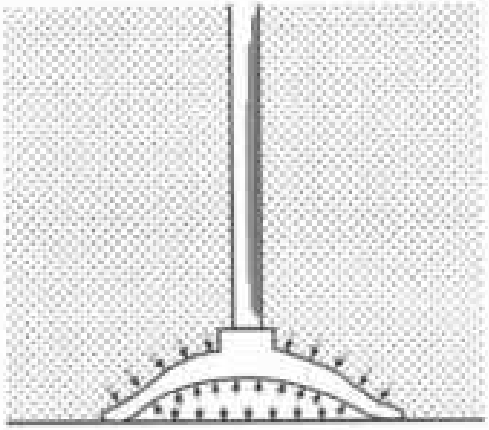
۱۰ــ۶ استفاده از فشار جوّ

دو نوع استفاده از فشار جو در شکلهای ۱۶ــ۶ــ الف و ۱۶ــ۶ــ ب نشان داده شده است.

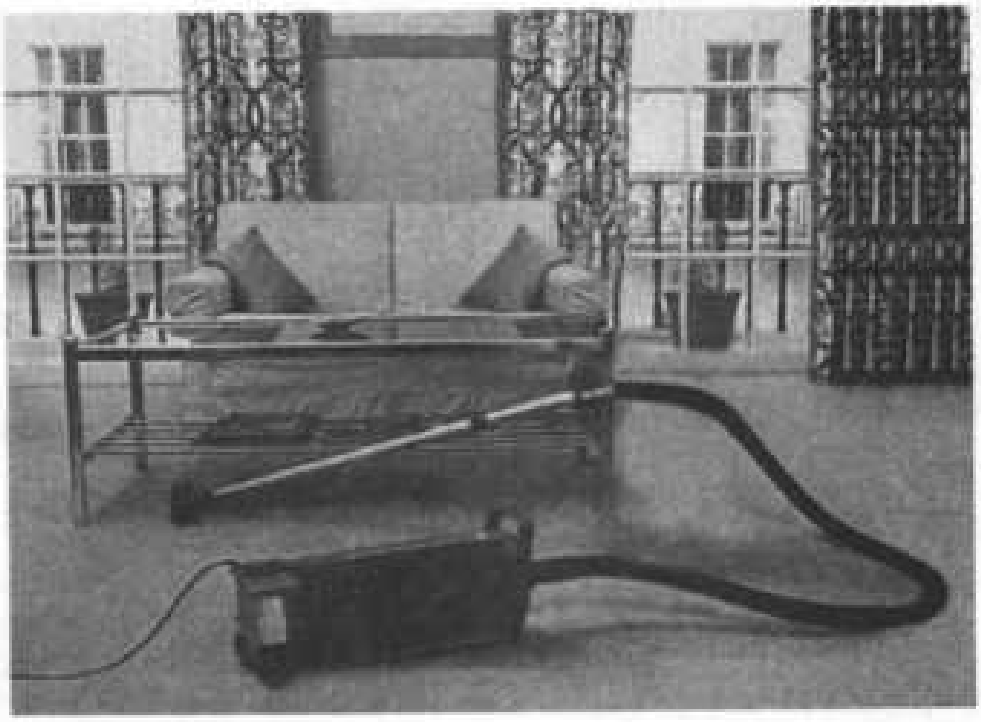
وقتی می‌خواهید با استفاده از یک نی مایعی را بنوشید، باید هوای داخل نی را بمکید. با مکیدن هوای داخل نی، فشار هوا در داخل نی کم می‌شود، در این‌جاست فشار جو که بر سطح



شکل ۱۶ــ۶ ــ الف ــ اختلاف فشار در داخل و خارج نی سبب بالا رفتن مایع می‌شود.



شکل ۱۶ــ۶ ــ ب ــ اختلاف فشار داخل و خارج مکنده، مکنده را بر یک سطح می‌چسباند.



شکل ۱۷ــ۶ ــ جاروبرقی با ایجاد خلأ نسبی کار می‌کند.

مایع وارد می‌شود از فشار داخل نی بیش‌تر شده و مایع را در داخل نی به بالا می‌راند. بنابراین باید گفت: مکیدن شما نیست که مایع را بالا می‌برد بلکه اختلاف فشار ایجاد شده بین درون و بیرون نی باعث بالا رفتن مایع در داخل نی می‌شود.

مکنده‌ی لاستیکی نیز براساس همین پدیده کار می‌کند.

اگر مکنده‌ی لاستیکی را برروی شیشه بگذاریم و بر آن فشار وارد کنیم، مقدار زیادی از هوای زیر لاستیک خارج می‌شود.

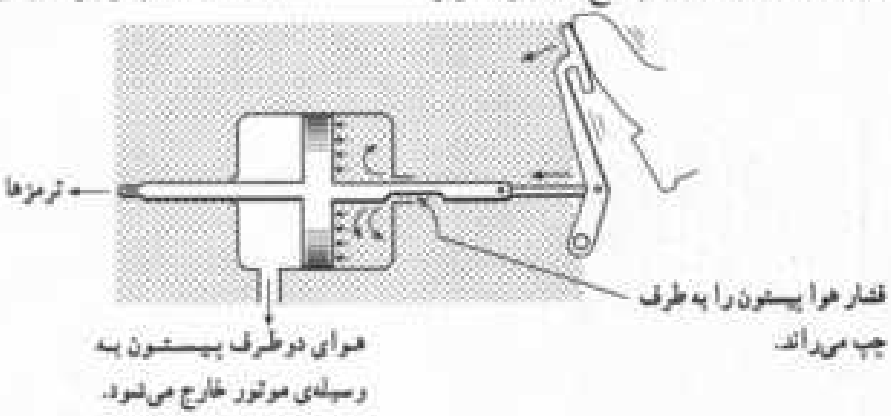
وقتی که مکنده به حالت اوّل برمی‌گردد، فشار هوای زیر لاستیک مکنده کم و فشار هوای بیرون آن زیاد است. دراثر این اختلاف فشار هوا، مکنده به شیشه می‌چسبد. کار جاروهای برقی نیز براساس همین پدیده است. در حالت عادی فشار هوایی که در داخل لوله‌ی جارو قرار دارد با فشار جو برابر است اما وقتی موتور جاروبرقی روشن می‌شود، یک خلأ نسبی ایجاد می‌کند و سبب می‌شود که هوای داخل لوله‌ی جارو، دراثر اختلاف فشار به‌وجود آمده، با سرعت حرکت کند تا فضای خالی را پر کند. با

حرکت هوا به داخل لوله گردوخاک و اشیاء کوچک نیز در داخل لوله بالا می‌روند.

۱۱ــ۶ ترمزهای خلأ

در بسیاری از انواع اتومبیل‌ها از فشار جو استفاده می‌شود تا نیروی بزرگی بر ترمزها وارد شود. در این نوع اتومبیل‌ها ترمز، مطابق شکل ۱۸ــ۶، از یک سیلندر و پیستون بزرگی درست شده است. موتور اتومبیل مانند یک پمپ خلأ عمل می‌کند. در نتیجه هوای دوطرف پیستون ترمز و خارج می‌شود. وقتی بر پدال ترمز فشاری وارد می‌گردد، شیری باز می‌شود و هوا فقط از طرف راست به داخل سیلندر می‌رود.

اختلاف فشار موجود در دوطرف پیستون باعث می‌شود تا

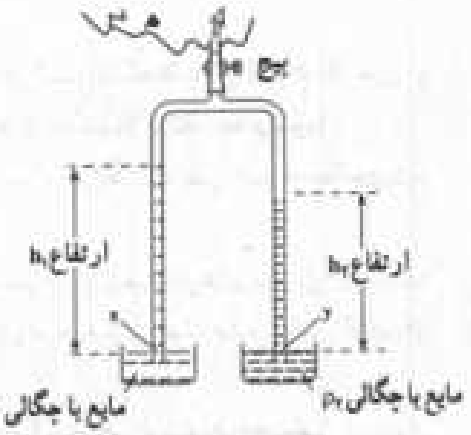


شکل ۱۸ــ۶ ــ وقتی پدال را فشار می‌دهیم، هوا به داخل سیلندر وارد می‌شود.

پیستون با نیروی بزرگی به طرف چپ برده شود. به این ترتیب نیروی بزرگی بر لنت‌های ترمز وارد می‌شود. توجه داشته باشید که این نیرو بسیار بزرگ‌تر از نیرویی است که پای ما بر پدال وارد می‌کند.

۱۲ــ۶ مقایسه‌ی چگالی مایعات

با استفاده از دستگاهی که در شکل نشان داده شده است، می‌توان چگالی دو مایع را با یکدیگر مقایسه کرد. این دستگاه به دستگاه هیر مشهور است.



اگر هوای بالای دستگاه مکیده شود، فشار جو سطح، مایعات موجود در زیر دو لوله را بالا می‌برد. پس از آن که مایعات تا حد مناسبی در لوله‌ها بالا رفتند، شیر دستگاه بسته می‌شود. پس از تعادل، میزان فشاری که دو مایع متفاوت در دو نقطه‌ی x و y ایجاد می‌کنند، با یکدیگر برابر است.

بنابراین رابطه‌ی زیر را می‌توان نوشت:

$$\rho_1 g_1 h_1 = \rho_2 g_2 h_2 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

اگر در یک لوله، آب یا یک مایع دیگر با چگالی معلوم (ρ_1)، و در لوله‌ی دیگر مایعی با چگالی نامعلوم (ρ_2) قرار داشته باشد، با اندازه گیری h_1 و h_2، ρ_2 را به‌دست می‌آوریم.

پرسش‌ها

۱ــ مقدار تقریبی فشار جو در سطح دریا برحسب پاسکال، میلی‌مترجیوه و اتمسفر چقدر است؟

۲ــ در موارد زیر، در ارتفاع ستون جیوه‌ی داخل لوله‌ی جوسنج، چه تغییری ایجاد می‌شود؟

الف ــ استفاده از لوله‌هایی با قطرهای کوچک و بزرگ.

ب ــ میزان فروبردن لوله در داخل ظرف محتوی جیوه.
پ ــ کج کردن لوله به میزان کم یا زیاد.
ت ــ بردن جوسنج به بالای کوه.

۳ــ با توجه به این که جیوه یک ماده سمی است، چرا برای تولید جوسنج از آب استفاده نمی‌شود؟

۴ــ چگونه می‌توانید از جوسنج به‌عنوان ارتفاع‌سنج نیز استفاده کنید؟

۵ــ چرا به هنگام نوشیدن نوشابه، نوشابه از نی بالا می‌رود؟

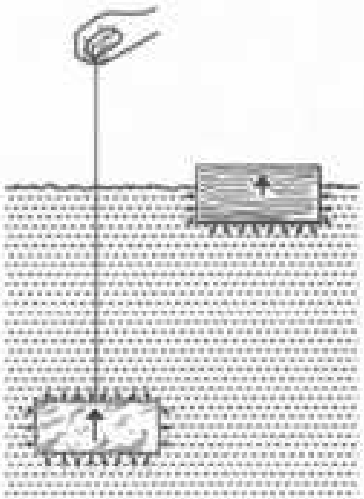
۶ــ ارتفاع ستون آب و ستون الکل در جوسنج آبی و الکلی در کنار دریا چقدر است؟

۷ــ در دستگاه هیر اگر $h_1 = ۰/۹m$ و $h_2 = ۰/۷۲m$ و مایع معلوم آب با چگالی $۱۰۰۰kg/m^۳$ باشد، چگالی مایع دوم چقدر است؟

۱۳ــ۶ اصل ارشمیدس و شناوری

بیش از ۲۰۰۰ سال قبل، ارشمیدس دریافت که اگر جسمی در داخل آب قرار گیرد سبک می‌شود. این مطلب درباره‌ی همه مایعات و گازها درست است.

اگر جسمی در داخل آب قرار گیرد، از طرف آب نیرویی به‌سوی بالا بر آن وارد می‌شود. اگر این نیرو مساوی یا بزرگ‌تر از نیروی وزن جسم باشد، جسم در آب فرو نمی‌رود. می‌دانید که یک آجر در آب فرو می‌رود، زیرا برآیند نیروهایی که از طرف آب بر آجر وارد می‌شود، از وزن آجر کم‌تر است. به شکل ۱۹ــ۶ نگاه کنید آب بر همه‌ی سطوح مکعب مستطیل نیرو وارد می‌کند، فشار در نتیجه نیرویی که بر سطح پایینی آن وارد می‌شود بزرگ‌تر است، زیرا که این سطح در عمق بیش‌تری قرار دارد.



شکل ۱۹ــ۶ ــ وقتی جسمی در مایعی قرار می‌گیرد برآیند نیروهای وارد بر آن به‌سوی بالا است.

به شکل‌های ۲۰ــ۶ نگاه کنید. در هوا وزن آجر آویخته شده به نیروسنج ۲۵ نیوتون است. وقتی آجر در داخل آب قرار دارد نیروسنج ۱۵ نیوتون را نشان می‌دهد ($۲۵N - ۱۵N = ۱۰N$) این نیروی ۱۰ نیوتون، نیرویی است که آب بر آجر وارد می‌کند و آن را نیروی شناوری می‌گویند.

حالا می‌خواهیم بدانیم که بزرگی نیروی شناوری وارد بر آجر با چه نیرویی برابر است.

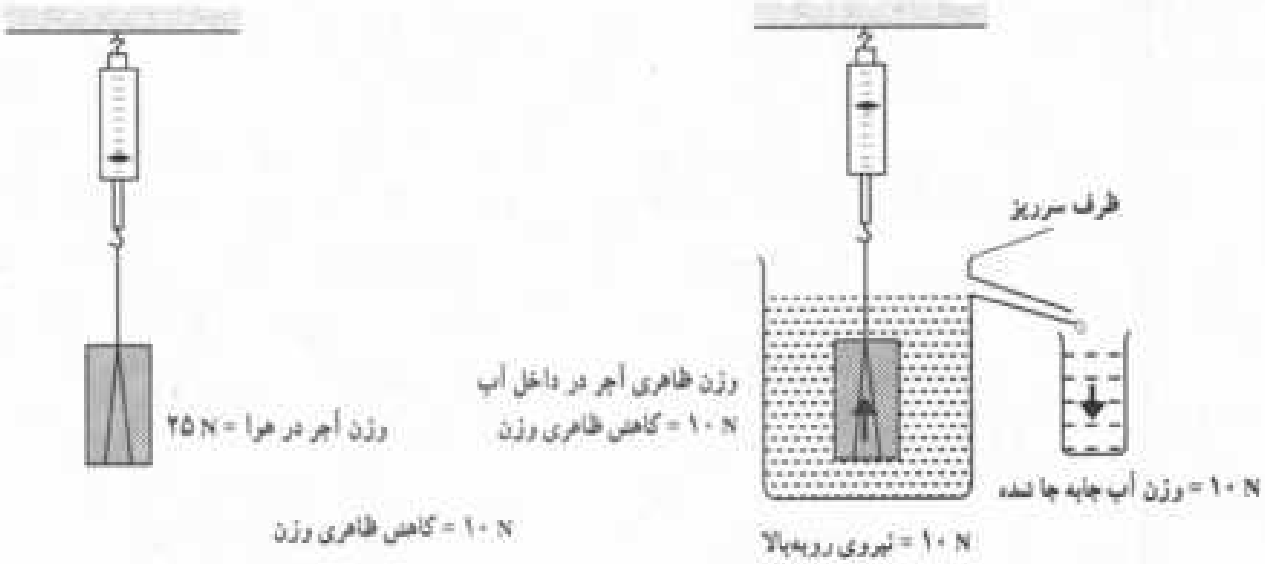
مطابق شکل ۲۰ــ۶ آجر آویخته شده بر نیروسنج را در داخل ظرف سرریز فرو می‌بریم. آبی را که از طرف سرریز خارج می‌شود در یک بشر جمع می‌کنیم. وزن آب خارج شده از ظرف سرریز را اندازه می‌گیریم، می‌بینیم که وزن این آب نیز ۱۰ نیوتون است.

یعنی وزن آب جابه‌جا شده با نیروی بالارانی که بر آجر وارد می‌شود برابر است، توجه دارید که حجم آب جابه‌جا شده با حجم آجر موجود در آب برابر است، به عبارت دیگر ۱۰ نیوتون وزن آب هم حجم آجر می‌باشد.

مثال ذکر شده، مثالی از اصل ارشمیدس است. اصل ارشمیدس می‌گوید، اگر جسمی در شاره‌ای (مایع یا گاز) قرار گیرد، به اندازه‌ی وزن شاره‌ی هم حجم قسمت موجود در شاره از وزنش کم می‌شود.

برای روشن‌تر شدن اصل ارشمیدس توجه به موارد زیر ضروری است.

۱ــ وقتی ما در هوا قرار داریم از طرف هوا نیرویی به‌سوی

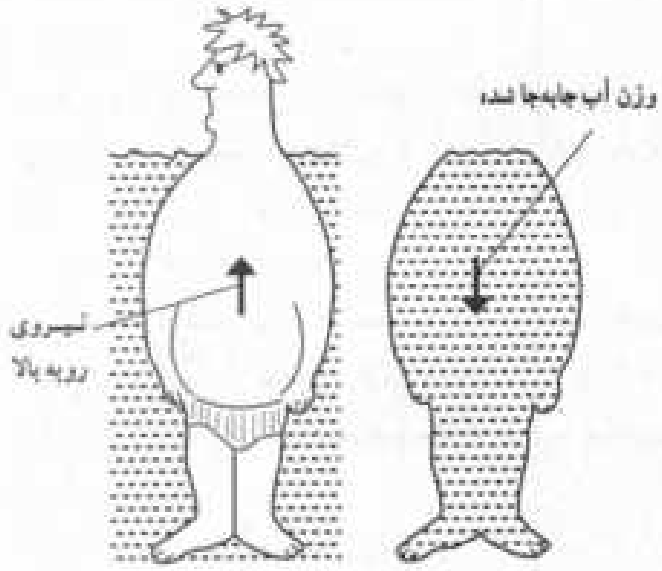


شکل ۲۰ ــ ۶ ــ آجر در داخل آب ظاهراً سبک می‌شود. علت سبک شدن آجر نیروی رو به بالایی است که آب بر آن وارد می‌کند.

بالا بر ما وارد می‌شود. بزرگی این نیرو به اندازه‌ی وزن هوای هم‌حجم بدن ماست.

۲ــ بزرگی نیروی بالاران یا نیروی شناوری به وزن جسم بستگی ندارد، حجم و چگالی شاره‌ی جابه‌جا شده، در تعیین بزرگی نیروی شناوری نقش دارند.

۳ــ نیروی شناوری یا وزن شاره‌ی جابه‌جا شده برابر است، حجم شاره یا حجم قسمتی از جسم که در شاره قرار دارد برابر می‌باشد.



شکل ۲۱ــ۶ ــ اثر نیروی ارشمیدس

۱۴ــ۶ تعیین چگالی نسبی یک جامد

فرض کنید می‌خواهیم چگالی آجر را، در مثال قبل، به‌دست آوریم. وزن آجر در هوا ۲۵ نیوتون است.

$$W_1 = ۲۵N \Rightarrow W_1 = m_1 g \Rightarrow m = \frac{W}{g}$$

$$m_1 = \frac{۲۵}{۱۰} = ۲/۵kg$$

بنابراین می‌توان گفت جرم آجر تقریباً ۲/۵ کیلوگرم است.

طبق اندازه‌گیری معلوم شد که:

۱۰N = وزن آب جابه‌جا شده = نیروی بالاران = کاهش ظاهری وزن

$$W_2 = m_2 g \Rightarrow m_2 = \frac{۱۰N}{۱۰} = ۱/۰kg$$ جرم آب جابه‌جا شده

می‌دانید که چگالی نسبی از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{چگالی نسبی یک جسم} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{جرم آب هم‌حجم جسم}}$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{۲/۵kg}{۱/۰kg} = ۲/۵$$

این نتیجه را می‌توان از رابطه‌ی زیر نیز به‌دست آورد.

$$\text{چگالی نسبی یک جسم} = \frac{\text{وزن جسم}}{\text{کاهش ظاهری وزن جسم}} = \frac{۲۵}{۱۰} = ۲/۵$$

۶ــ۱۵ تعیین چگالی نسبی یک مایع

اگر جسمی را به‌جای آن‌که در آب فرو ببریم در داخل الکل قرار دهیم، کم‌تر سبک می‌شود به عبارت دیگر اگر جسم در داخل الکل فرو برده شود نیرویی که الکل بر آن وارد می‌کند کم‌تر است در هر دو مورد مقدار مایع جابه‌جا شده مساوی است، ولی چگالی مایع جابه‌جا شده فرق می‌کند، چون چگالی الکل کم‌تر است، وزن الکل جابه‌جا شده از وزن آب جابه‌جا شده نیز کم‌تر می‌باشد. وقتی آجر در داخل آب قرار می‌گیرد ۱۰ نیوتون سبک‌تر می‌شود. اگر آجر در داخل الکل قرار گیرد ۸ نیوتون سبک‌تر خواهد شد.

طبق اصل ارشمیدس:

وزن الکل جابه‌جا شده به‌وسیله آجر = ۸N

وزن آب جابه‌جا شده به‌وسیله‌ی آجر = ۱۰N

جرم آب جابه‌جا شده به‌وسیله‌ی آجر = ۱/۰ kg

جرم الکل جابه‌جا شده به‌وسیله‌ی آجر = ۰/۸ kg

$$\text{چگالی نسبی یک مایع} = \frac{\text{جرم مایع}}{\text{جرم آب هم حجم مایع}}$$

$$\text{چگالی نسبی الکل} = \frac{۰/۸\text{kg}}{۱/۰\text{kg}} = ۰/۸$$

این نتیجه را از رابطه‌ی زیر نیز می‌توان به‌دست آورد:

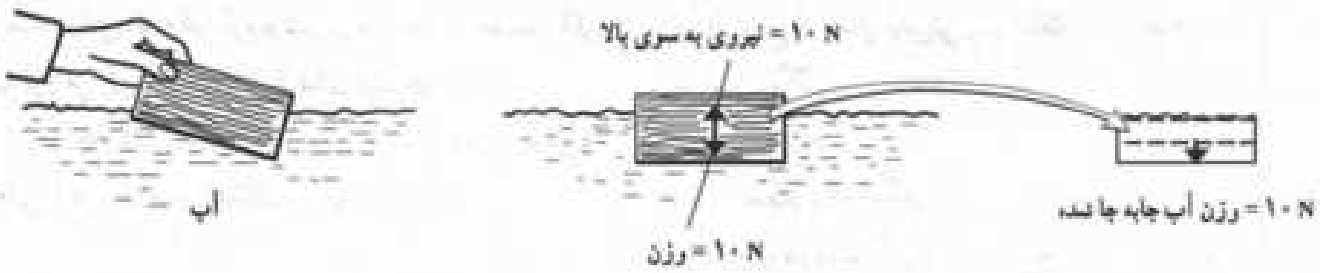
$$\text{چگالی نسبی یک مایع} = \frac{\text{کاهش ظاهری وزن جسم در مایع}}{\text{کاهش ظاهری وزن جسم در آب}}$$

$$= \frac{۸\text{kg}}{۱۰\text{kg}} = ۰/۸$$

۶ــ۱۶ قانون شناوری

اگر نیروی بالاران، و به‌عبارت دیگر نیروی شناوری به‌اندازه‌ی کافی بزرگ باشد می‌تواند وزن جسم را خنثی کند، در این صورت جسم در مایع شناور می‌شود.

اگر قطعه چوبی به وزن ۱۰ نیوتون را در آب رها کنیم، مقداری از چوب در آب فرو می‌رود، به عبارت دیگر چوب مقداری از آب را جابه‌جا می‌کند. وقتی چوب بر روی آب شناور می‌شود که، وزن آب جابه‌جا شده با وزن چوب (۱۰N) برابر باشد.



شکل ۲۲ــ۶ ــ یک جسم وقتی در یک مایع شناور می‌ماند که نیروی شناوری با وزن جسم برابر شود.

اگر جسمی در روی مایعی شناور باشد، وزن مایع جابه‌جا شده با وزن جسم برابر است.

توجه کنید، هر چه چگالی مایع کم‌تر باشد، جسم مقدار بیش‌تری در مایع فرو می‌رود. این فرو رفتن ادامه می‌یابد تا وزن مایع جابه‌جا شده با وزن جسم برابر شود. در این‌جا این پرسش وجود دارد که یک کشتی ساخته شده از فولاد، چگونه بر روی آب شناور می‌ماند؟ پاسخ این است که حجم هوای موجود در کشتی از حجم فولاد به‌کار رفته در کشتی بیش‌تر است در نتیجه چگالی متوسط کشتی از چگالی آب کم‌تر است.

۶ــ۱۷ سطح شناوری

شکل ۲۳ــ۶، قطعه چوبی را نشان می‌دهد که وزن آن ۱۰ نیوتون است، این قطعه چوب ابتدا در آب سپس در الکل قرار داده شده است. دقت کنید، قطعه چوب هم در آب و هم در الکل

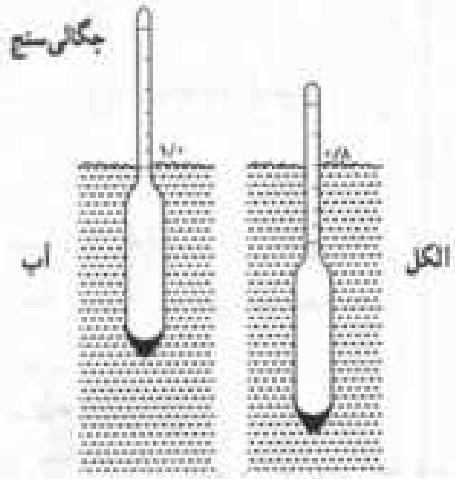
شناور است، ولی وقتی در داخل الکل قرار گرفته است مقدار بیش‌تری در داخل الکل فرو رفته، طبق قانون شناوری، وزن مایع جابه‌جا شده در هر دو حالت با هم برابر و ۱۰ نیوتون است. چون چگالی الکل کوچک‌تر است باید حجم الکل جابه‌جا شده از حجم آب جابه‌جا شده بیش‌تر باشد. بنابراین، چون مقدار بیش‌تری در الکل فرو می‌رود هر تغییری در چگالی آب اطراف کشتی باعث می‌شود تا کشتی به مقدار کم‌تر یا بیش‌تر در آب فرو رود.

شکل ۲۴ـ۶ ــ در شناورهایی که چگالی کمتری دارند، قبل از شناور شدن جسم، حجم زیادی از مایع جابه‌جا می‌شود.

به عبارت دیگر با تغییر چگالی آب در اطراف کشتی، سطح آب در اطراف کشتی تغییر می‌کند. می‌دانید که چگالی آب شیرین از چگالی آب شور کم‌تر است. به همین دلیل است که کشتی‌ها در آب شیرین بیش‌تر فرو می‌روند همچنین می‌دانید که چگالی آب گرم از چگالی آب سرد کم‌تر است، بنابراین کشتی‌ها در آب گرم بیش‌تر فرو می‌روند.

توجه به موارد فوق، در کشتی‌رانی اهمیت زیادی دارد، زیرا، اگر یک کشتی در آب سرد و شور حداکثر بارگیری لازم را کرده باشد، وقتی که به آب گرم و شیرین می‌رسد تا حد خطرناکی در آب فرو می‌رود و احتمال غرق شدن آن وجود دارد.

برای جلوگیری از این خطر بر روی بدنه‌ی همه‌ی کشتی‌ها خط‌هایی با نام «شاخص حداکثر بار» رسم می‌کنند.



شکل ۲۴ـ۶ ــ چگالی‌سنج‌ها در مایعاتی که چگالی کم‌تری دارند بیش‌تر فرو می‌روند.

۱۸ــ۶ چگالی سنج‌ها

چگالی‌سنج‌ها برای تعیین چگالی نسبی مایعات درست شده‌اند. چگالی سنج‌ها دقت زیادی ندارند ولی به‌راحتی و به سرعت می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

چگالی سنج از یک شناور و یک مقیاس درست شده است. در شکل ۲۴ـ۶ دو چگالی‌سنج نشان داده شده است که یکی در آب و دیگری در الکل شناور است، همان‌طوری که در شکل می‌بینید، چون چگالی الکل از چگالی آب کم‌تر است، چگالی‌سنج به مقدار بیش‌تری در الکل فرو رفته است. برای خواندن چگالی نسبی، عددی را که در مقابل سطح مایع قرار دارد می‌خوانند.

هنگام تولید چگالی‌سنج در قسمت پایین آن مقداری سرب یا دانه‌های فلزی سنگین قرار می‌دهند تا چگالی‌سنج در داخل مایع به حالت قائم قرار گیرد. برای ایجاد دقت بیش‌تر، قسمت مدرج چگالی‌سنج را باریک می‌سازند تا تغییرات کم در چگالی مایع، سبب بیش‌تر فرو رفتن چگالی‌سنج در مایع گردد و دقت اندازه‌گیری بیش‌تر شود.

برای تعیین کیفیت شیر و نوشابه‌ها، هم‌چنین بررسی آب باتری (اسید) اتومبیل از چگالی‌سنج‌ها استفاده می‌شود. چگالی نسبی اسید در باتری کاملاً شارژ شده، در حدود ۱/۲۵ است. چگالی نسبی اسید باتری، که از نظر الکتریکی خالی است، در حدود ۱ است.

۱۹ــ۶ شناوری و غوطه‌وری

اگر چگالی یک ماده‌ی جامد را با چگالی یک مایع مقایسه کنیم، می‌توانیم بگوییم که این ماده در داخل مایع شناور می‌ماند، غوطه‌ور می‌شود یا در آب فرو می‌رود.

اگر چگالی ماده از چگالی مایع کوچک‌تر باشد، شناور می‌ماند. اگر چگالی ماده با چگالی مایع مساوی باشد غوطه‌ور می‌شود، و اگر چگالی ماده از چگالی مایع بزرگ‌تر باشد در مایع فرو می‌رود. شکل ۲۶ــ۶، تکه قیری را نشان می‌دهد، این تکه قیر برای لحظه‌ای در آب شناور می‌ماند و بعد غوطه‌ور می‌شود. در حالت غوطه‌وری، نیرویی که به بالای شناوری با نیروی وزن جسم برابر است و این حالت فقط در صورتی اتفاق می‌افتد که چگالی مایع با چگالی جسم برابر باشد.

شکل ۲۵ــ۶ ــ از چگالی‌سنج‌ها برای بررسی وضع شارژ باتری اتومبیل استفاده می‌شود.

شکل ۲۶ــ۶ ــ یک جسم وقتی در آب غوطه‌ور می‌شود که نیروی رو به‌بالا با وزن آن برابر باشد.

مثال ۱: قطعه فلزی با حجم $۰/۱m^۳$ و چگالی $۲۸۰۰kg/m^۳$ موجود است. قطعه فلز را در داخل آب نمک با چگالی $۱۲۰۰kg/m^۳$ قرار می‌دهیم. وزن ظاهری قطعه فلز چقدر است؟

$$g = ۱۰ \frac{N}{kg}$$

حل:

وزن قطعه فلز = حجم × چگالی × g

$$\text{وزن قطعه فلز} = ۰/۱m^۳ \times ۲۸۰۰kg/m^۳ \times ۱۰ \frac{N}{kg}$$

وزن قطعه فلز = ۲۸۰۰N

وزن آب نمک جابه‌جا شده = کاهش ظاهری وزن

کاهش ظاهری وزن = حجم × چگالی آب نمک × g

$$\text{کاهش ظاهری وزن} = ۰/۱m^۳ \times ۱۲۰۰ \frac{kg}{m^۳} \times ۱۰$$

کاهش ظاهری وزن = ۱۲۰۰N

یعنی وقتی قطعه فلز کاملاً در داخل آب قرار دارد، ظاهراً به اندازه‌ی ۱۲۰۰ نیوتون از وزنش کم می‌شود به عبارت دیگر از طرف آب ۱۲۰۰ نیوتون نیروی بالارانی بر آن وارد می‌شود.

کاهش وزن = وزن − وزن ظاهری = ۲۸۰۰ − ۱۲۰۰ = ۱۶۰۰N

پس، وزن ظاهری قطعه فلز در داخل آب نمک ۱۶۰۰N است.

مثال ۲: میله‌ای به شکل استوانه موجود است وقتی این میله به‌صورت قائم در داخل آب قرار داده می‌شود ۴۰ میلی‌متر از

طول میله داخل آب فرو می‌رود و بقیه‌ی آن خارج از آب است.

اگر همین میله را در داخل بنزین قرار دهیم چند میلی‌متر از میله در داخل بنزین فرو می‌رود تا شناور شود؟ چگالی آب $1000 kg/m^3$ و چگالی بنزین $800 kg/m^3$ می‌باشد.

حل: برای حل مسئله بایستی وزن مایعات جابه‌جا شده را برحسب ارتفاع قسمتی از میله که در مایع فرو رفته است حساب کنیم.

ارتفاعی از میله را که در بنزین فرو می‌رود h می‌نامیم و فرض می‌کنیم که مساحت قاعده‌ی استوانه A است.

وزن بنزین جابه‌جا شده = حجم بنزین جابه‌جا شده × چگالی بنزین × g

وزن میله = $hA \times 800 kg/m^3 \times g$

وزن آب جابه‌جا شده = حجم آب جابه‌جا شده × چگالی آب × g

وزن میله = $0/04m \times 1000 kg/m^3 \times g$

$0/04m \times 1000 kg/m^3 \times g = hA \times 800 kg/m^3 \times g$

$0/04m \times 1000 = 800h$

$0/05m = h \rightarrow h = 50mm$

۲۰ـ۶ شناوری در هوا

با آن‌که چگالی هوا کم است، اگر حجم هوا زیاد باشد، وزن قابل توجهی دارد. در شکل ۲۷ـ۶ یک بالن با هوای داغ نشان داده شده است. این بالن تقریباً $2500 kg$ هوا را جابه‌جا می‌کند.

اگر کل وزن بالن و محتویات آن از وزن هوای جابه‌جا شده کوچک‌تر باشد، بالن شناور می‌ماند. وقتی بالن بر روی زمین قرار دارد نخست آن را با هوای سرد پر می‌کنند، سپس به کمک مشعل گاز، این هوای سرد را آن‌قدر گرم می‌کنند تا دمای آن تقریباً به $100°C$ برسد. در اثر گرم شدن، مقداری از هوای داخل بالن خارج می‌شود، در نتیجه وزن بالن کم‌تر می‌شود و صعود می‌کند. در صورت سرد شدن هوای داخل بالن مقداری هوا به‌داخل بالن وارد می‌شود و وزن بالن بیش‌تر می‌گردد و بالن پایین می‌آید.

اگر خلبان بالن بخواهد در ارتفاع ثابتی پرواز کند، باید هوای داخل بالن را گرم نگه دارد، بنابراین هر چند وقت یک‌بار، شعله مشعل را برای مدّت کوتاهی زیاد می‌کنند.

شکل ۲۷ـ۶ ــ وزن هوای جابه‌جا شده از وزن بالن و محتویات آن کمتر است.

پرسش‌ها

۱ـ اصل ارشمیدس و قانون شناوری را شرح دهید.

۲ـ جرم قایقی که بر روی آب شناور است $1000 kg$ می‌باشد:

الف ـ نیروی شناوری وارد بر قایق چند نیوتون است؟

ب ـ حجم آب جابه‌جا شده چقدر است؟

پ ـ اگر قایق به یک آب شور برسد چه رُخ می‌دهد؟

۳ـ یک بالن دارای هوای داغ، هوایی به وزن ۲۰۰۰۰ نیوتون را جابه‌جا می‌کند. اگر وزن بالن و سایر متعلقات آن جمعاً ۲۰۰۰ نیوتون و وزن هوای داغ داخل بالن ۱۵۰۰۰ نیوتون باشد، حداکثر باری را که بالن می‌تواند حمل کند چند نیوتون است؟

۴ـ وزن جسمی وقتی در هوا قرار دارد ۲۴ نیوتون است. این جسم وقتی در داخل آب قرار می‌گیرد وزن ظاهری‌اش ۲۰ نیوتون می‌شود. اگر این جسم در داخل مایع دیگری قرار داده شود وزن ظاهری آن ۲۱ نیوتون می‌باشد، چگالی نسبی این جسم و چگالی نسبی این مایع چقدر است؟

۵ـ قطعه آلومینیومی به حجم $0/2 m^3$ و با چگالی $2700 kg/m^3$ موجود است اگر این آلومینیوم در داخل آب برده شود چقدر وزن خواهد داشت؟ چگالی آب $1000 kg/m^3$ می‌باشد.

۶ـ میله‌ای پس از آن‌که در راستای قائم 6cm در آب با چگالی $1000 kg/m^3$ فرو می‌رود، شناور می‌شود. این میله در داخل آب با چگالی $1200 kg/m^3$ چند سانتی‌متر فرو می‌رود؟

مراجع

الف ــ فارسی

۱ـ پایل استفن ۱۳۶۹ فیزیک تشریحی، انتشارات فاطمی، ترجمه : محمود بهار ــ اصغر لطفی

ب ــ انگلیسی

۱ـ Stephen Pople (1995)
EXPLANING Physics

۲ـ Serway R.A. and Paughn (1985)
College Physics

۳ـ John Avion (1989)
The word of Physics

شابک ۴-۷۷۸-۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-0778-4

۱۳۸۴