۳ دینامیک

ماهی‌گیران در سواحل خلیج فارس

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

در فصل دوم با کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود یا ممکن است حرکت جسم شتاب‌دار باشد و در نتیجه سرعت تغییر کند. اما از طرح و پاسخ پرسش‌هایی مانند در چه صورتی یک جسم ساکن می‌ماند؟ چگونه می‌توان جسم ساکنی را به حرکت درآورد؟ چه عاملی باعث تغییر سرعت جسم می‌شود؟ چه عاملی باعث تغییر در حرکت و به‌طور کلی چه عاملی باعث تغییر در وضعیت جسم می‌شود؟ و ... خودداری کردیم.

در این فصل می‌خواهیم این پرسش‌ها را طرح کنیم و پاسخ آنها را بیابیم. برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها، باید در ابتدا با کمیتی به نام نیرو بیشتر آشنا شویم.

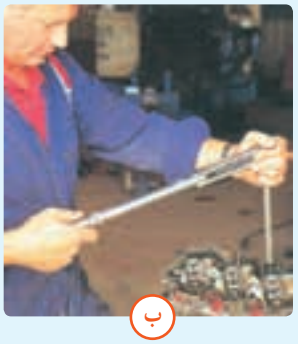
۳ـ۱ نیرو

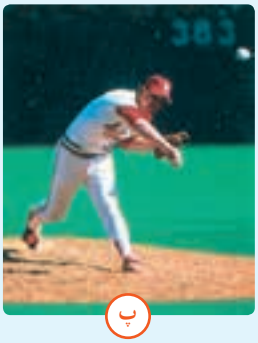
در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را هُل دهیم یا بکشیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم». برای شناخت بیشتر نیرو، بهتر است در مورد «اثر نیرو بر یک جسم» بحث کنیم.

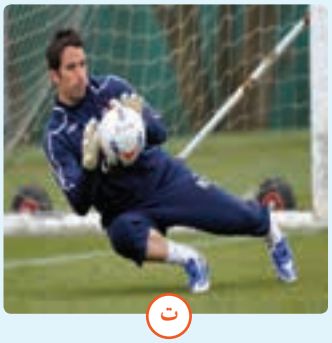
فعالیت ۳ـ۱

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

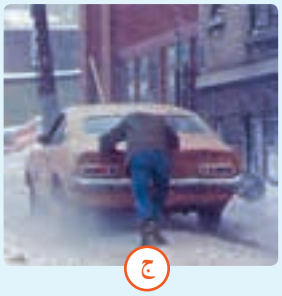
الف


ب


پ


ت

ث


ج

چ

در بسیاری از موارد برای آنکه دوجسم به‌هم نیرو وارد کنند باید باهم تماس داشته باشند. مثلاً برای برداشتن یک کتاب از قفسهٔ کتاب‌ها باید دست شما به آن برسد تا با وارد کردن نیرو به کتاب، بتوانید آن را بردارید. برای اعمال نیروی دست بر کتاب وجود دست و کتاب لازم است.

همچنین در بازی فوتبال وقتی توپ به طرف شما پرتاب می‌شود، اگر توپ به پای شما یا به جسم دیگری برخورد نکند مسیر توپ تغییر نمی‌کند. برای آنکه به توپ نیرو وارد شود و مسیر آن تغییر کند وجود پا و توپ لازم است تا در تماس پا به توپ به آن نیرو وارد شود. اما گاهی برای تأثیر نیرو تماس لازم نیست. مثلاً به فعالیت زیر توجه کنید :

فعالیت ۳ـ۲

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

الف) چه عاملی باعث سقوط سیب شده است؟

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

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

نیروهای گرانشی، مغناطیسی و الکتریکی می‌توانند از راه دور و بدون تماس اجسام باهم اثر کنند. مثلاً خورشید از فاصلهٔ بسیار دور بر سیاره‌های منظومهٔ خورشیدی نیرو وارد می‌کند یا یک آهن‌ربا، از راه دور به یک قطعه آهن نیرو وارد می‌کند و آن را به سوی خود می‌کشد. با توجه به آنچه تاکنون در مورد نیرو بیان شد، می‌توان گفت :

۱ــ نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود سبب تغییر اندازهٔ سرعت جسم یا تغییر جهت آن می‌شود. مثلاً ممکن است جسم ساکن با اعمال نیرو شروع به حرکت کند یا جسم متحرک در اثر اعمال نیرو متوقف شود.

۲ــ نیرو برهم‌کنش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.

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

نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد که اگر بخواهیم جسمی مثلاً یک توپ فوتبال را با سرعت زیاد پرتاب کنیم، باید به آن نیروی بزرگی وارد کنیم. مثلاً هنگام زدن پنالتی در بازی فوتبال برای آنکه دروازه‌بان نتواند توپ را بگیرد، باید با وارد کردن نیروی بزرگ‌تری به توپ آن را با سرعت بیشتری به سوی دروازه شوت کنیم. از طرف دیگر برای آنکه توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانهٔ دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند.

بزرگی (اندازه) نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. شکل ۳ــ۱ نمونه‌هایی از چند نوع نیروسنج را نشان می‌دهد. یکای اندازه‌گیری نیرو، نیوتون (با نماد N) نام دارد که با تعریف آن، در همین فصل آشنا می‌شوید.

شکل ۳ــ۱ــ نمونه‌هایی از چند نیروسنج

۳ــ۲ قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت

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

نیوتون، دانشمند انگلیسی، با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود موفق شد قانون‌های حرکت را که امروزه به نام خود او «قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت» نام دارد، در کتاب اصول خود بیان کند. این قانون‌ها به شرح زیر هستند.

قانون اول نیوتون : پیشینیان گالیله معتقد بودند که جسم متحرک برای ادامهٔ حرکتش به نیرو نیاز دارد. گالیله با آزمایش‌هایش نشان داد حرکت جسم می‌تواند بدون نیاز به نیرو تداوم داشته باشد. نیوتون با بهبود بخشیدنِ این نظر قانون اول را به صورت زیر بیان کرد :

«یک جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند مگر آنکه تحت تأثیر نیرویی مجبور به تغییر آن حالت شود.»

به بیان دیگر اگر به جسمی نیرو وارد نشود چنانچه جسم ساکن باشد ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌یابید که به آن نیرو وارد نشود؟ به‌همهٔ جسم‌ها نیروی وزن وارد می‌شود. در نتیجه نمی‌توان جسمی را یافت که به آن نیرو وارد نشود تا بتوان قانون اول نیوتون را مورد آزمایش قرار داد.

هرگاه به جسمی که در حال حرکت است نیرویی وارد نشود مانند جسمی که از زمین بسیار دور شود و به ماه یا سیاره‌های دیگر نیز نزدیک نباشد، جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. این مسئله را بشر در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تقریباً آزموده است. وقتی سفینه به اندازهٔ کافی از زمین دور می‌شود با موتور خاموش و با سرعت تقریباً ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد.

اگر به جسمی نیرو وارد نشود جسم وضعیت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند. به این ویژگی اجسام لختی گفته می‌شود. به‌همین مناسبت به قانون اول نیوتون قانون لختی نیز می‌گویند.

فعالیت ۳ـ۳

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به صندلی فشرده می‌شوید و اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید در توقف ناگهانی به جلو پرتاب می‌شوید. علت این پدیده‌ها را توضیح دهید.

قانون دوم نیوتون : در بخش قبل دیدیم که «اگر بر جسم نیرویی وارد نشود، جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود بر روی خط راست را حفظ می‌کند.» امّا آزمایش‌ها نشان می‌دهند اگر بر جسم نیرو وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد. رابطهٔ میان نیروهای وارد بر جسم و شتاب حرکت جسم موضوع قانون دوم نیوتون است. قانون دوم نیوتون به‌صورت زیر بیان شده است :

«اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برایند نیروهای وارد بر جسم نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»

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

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

و یا

$$\vec{F}_{\text{برایند}} = m\vec{a} \qquad (۱ـ۳)$$

یکای نیرو در SI نیوتون (N) است که از رابطهٔ ۳ـ۱ تعریف می‌شود. اگر در این رابطه جرم برحسب کیلوگرم (kg) و شتاب برحسب متربرمجذور ثانیه (m/s^2) قرار داده شود، نیرو برحسب $kg.m/s^2$ خواهد شد که آن را نیوتون (N) می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون نیرویی است که اگر بر جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه می‌دهد.»

مثال ۳ـ۱

جسمی به جرم $۵۰۰g$ تحت تأثیر نیروی $F = ۲N$ در جهت محور x قرار دارد. شتاب جسم چقدر و در چه جهتی است؟

پاسخ : بزرگی شتاب برابر است با

$$a = \frac{F_{\text{برایند}}}{m} = \frac{۲}{۰/۵} = ۴ m/s^2$$

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

مثال ۳ـ۲

به دو توپ به جرم‌های $m_۱ = ۱۰۰g$ و $m_۲ = ۳۰۰g$ نیروی ۱۵N وارد می‌کنیم. بزرگی شتاب هر توپ را حساب کنید.

پاسخ :

$$a = \frac{F_{\text{برایند}}}{m}$$

$$a_۱ = \frac{F_{\text{برایند}}}{m_۱} = \frac{۱۵}{۰/۱} = ۱۵۰ m/s^2 \qquad a_۲ = \frac{F_{\text{برایند}}}{m_۲} = \frac{۱۵}{۰/۳} = ۵۰ m/s^2$$

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

قانون سوم نیوتون : وقتی با دست دیوار را هُل می‌دهیم، حس می‌کنیم که دیوار نیز ما را هُل می‌دهد. به این ترتیب در برهم کنش دست ما و دیوار دو نیرو وجود دارد. اگر نیروی دست خود به دیوار را نیروی کُنش بنامیم، نیروی دیوار به دست ما نیروی واکنش نامیده می‌شود. همین‌طور درست است که نیروی دیوار به دستمان را نیروی کنش و نیروی دست ما به دیوار را نیروی واکنش بنامیم.

نکتهٔ مهم این است که در مکانیک کلاسیک نیروهای کنش و واکنش همیشه همراه هم ظاهر می‌شوند و هیچ یک بدون دیگری نمی‌تواند وجود داشته باشد.

قانون سوم نیوتون رابطهٔ کمّی میان نیروهای کنش و واکنش را به‌صورت زیر بیان می‌کند :

«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم‌اندازه ولی در خلاف جهت آن وارد می‌کند.»

برای مثال در شکل ۳ــ۲ نیروهای $\vec{F}_{۱۲}$ (نیرویی که جسم اول به جسم دوم وارد می‌کند) و $\vec{F}_{۲۱}$ (نیرویی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند) نیروهای کنش و واکنش (عمل و عکس‌العمل) هستند.

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

شکل ۳ــ۲ــ دو آهن‌ربای میله‌ای که روی دو گاری سوار شده‌اند بر هم نیرو وارد می‌کنند

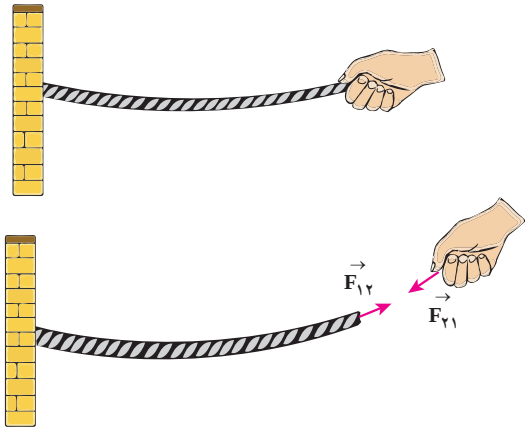
در مورد نیروهای کنش و واکنش توجه کنید که :

ــ این دو نیرو همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوهای مخالف یکدیگرند.

ــ این دو نیرو به دو جسم وارد می‌شوند.

ــ این دو نیرو هم‌نوع‌اند. به‌عنوان مثال هر دو گرانشی‌اند یا هر دو الکتریکی‌اند یا ...

مثال ۳ــ۳



مطابق شکل، یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر دیگر آن را با دست می‌کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کنش و واکنش بین «دست و طناب» را مشخص کنید.

پاسخ : در شکل نیروهای بین دست و طناب نشان داده شده است. در این شکل، دست را جسم ۱ و طناب را جسم ۲ نامیده‌ایم.

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

تمرین ۳ـ۱

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

برخورد دو خودرو

برخورد دست با کیسه بوکس

خارج شدن گیاه از دانه (جوانه زدن)

برخورد چکش با میخ

۳ـ۳ معرفی چند نیروی خاص

دیدیم که نیرو عامل ایجاد شتاب و در نتیجه، عامل تغییر در سرعت جسم است. بنابراین برای بررسی حرکت یک جسم باید نیروهای وارد بر آن را مشخص و اندازه‌گیری کنیم.

در این بخش به معرفی چند نیروی خاص می‌پردازیم که در بحث حرکت از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

نیروی گرانشی : آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چرا آب در جویبارها به طرف پایین حرکت می‌کند؟ چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کنیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟ چرا آب دریاها دچار جذر و مد می‌شود؟ ماه تحت تأثیر چه نیرویی در مدار خود به دور زمین می‌چرخد؟

در سال ۱۶۶۵ میلادی نیوتون، دانشمند انگلیسی، نشان داد نیرویی که ماه را در مدارش به دور زمین نگه می‌دارد، از جنس همان نیرویی است که موجب افتادن یک سیب می‌شود. به این نیرو

نیروی گرانشی گفته می‌شود. نیروی گرانشی بین دو جسم با استفاده از قانون گرانش عمومی به دست می‌آید. بنا به قانون گرانش نیوتون :

«نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد.»

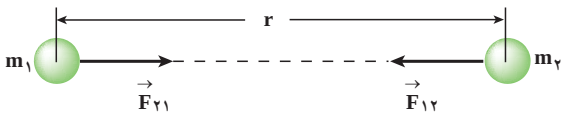
اگر جرم دو ذره m_1 و m_2 و فاصلهٔ میان آنها مطابق شکل ۳ــ۳ برابر r باشد، اندازهٔ نیروی گرانشی میان دو ذره (F) از رابطهٔ ۳ــ۲ به‌دست می‌آید :

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

$$F = G\frac{m_1.m_2}{r^2} \qquad (۳ــ۲)$$

در این رابطه G ثابت گرانش عمومی نام دارد. در SI که یکای جرم کیلوگرم (kg)، یکای نیرو نیوتون (N) و یکای فاصله متر (m) است، G برابر است با :

$$G = 6/67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$$



شکل ۳ــ۳ــ دو ذره به جرم‌های m_1 و m_2 بر هم نیروی گرانشی وارد می‌کنند.

مثال ۳ــ۴

دو جسم به جرم‌های ۵۰kg و ۶۰kg در فاصلهٔ یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آنها را محاسبه کنید.

پاسخ :

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

$$F = 6/67 \times 10^{-11} \times \frac{50 \times 60}{1^2} = 2 \times 10^{-7}\ N$$

همان‌طور که محاسبهٔ بالا نشان می‌دهد نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم کوچک قابل ملاحظه نیست.

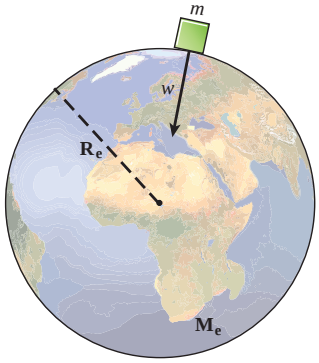
تمرین ۳ــ۲

جرم زمین تقریباً $5/98 \times 10^{24}kg$ و شعاع زمین تقریباً $6/37 \times 10^{6}m$ است. نیروی گرانشی زمین که به شما وارد می‌شود حدود چند نیوتون است؟ برای محاسبهٔ نیروی گرانشی زمین جرم آن در مرکز زمین فرض می‌شود.

وزن : وزن یک جسم بر روی سطح زمین برابر با نیروی گرانشی است که زمین برجسم وارد می‌کند. معمولاً وزن را با W نشان می‌دهند[1]. اگر جرم جسم را با m، جرم زمین را با M_e و شعاع آن را با R_e نشان دهیم داریم :

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

$$W = G\frac{M_e.m}{R_e^2} \qquad (۳_۳)$$



شکل ۳ــ۴ــ به هر جسمی به جرم m نیروی وزن W از سوی زمین که جرم آن M_e و شعاع آن R_e است، وارد می‌شود.

می‌دانیم نیرو سبب شتاب گرفتن جسم می‌شود. اگر جسمی به جرم m را در نزدیکی سطح زمین رها کنیم، تحت تأثیر نیروی وزن به سمت زمین شتاب می‌گیرد و سقوط می‌کند (شکل ۳ــ۴). بنابراین براساس قانون دوم نیوتون می‌توان نوشت :

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

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

$$g = G\frac{M_e}{R_e^2} \qquad (۴_۳)$$

آن‌گاه رابطهٔ ۳ــ۳ را می‌توانیم با استفاده از رابطهٔ ۳ــ۴ به‌صورت زیر بنویسیم[2] :

$$W = mg \qquad (۵_۳)$$

مثال ۳ــ۵

با استفاده از مقدارهای داده شده در تمرین ۳ــ۲ مقدار g را به‌دست آورید :

پاسخ :

$$g = G\frac{M_e}{R_e^2} = ۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}}{(۶/۳۷\times۱۰^{۶})^2} = ۹/۸\,\text{m/s}^2$$

با صرف‌نظر کردن از نیروی مقاومت هوا، همهٔ اجسام در نزدیکی سطح زمین با شتاب ثابت $g = ۹/۸\ \text{m/s}^2$ سقوط می‌کنند.

فعالیت ۳ــ۴

۱ــ تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی، G، نخستین بار توسط چه کسی اندازه‌گیری شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.

۲ــ شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

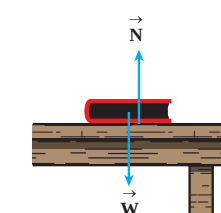
۱ــ اوّل حرف Weight

۲ــ رابطهٔ ۳ــ۴ با فرض چشم‌پوشی از چرخش زمین برقرار است.

نیروی عمودی سطح : جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۳ــ۵ روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر m باشد، نیروی وزن W = mg را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به‌سوی پایین می‌کشد. چرا جسم رو به پایین به حرکت در نمی‌آید؟

شکل ۳ــ۵ــ کتابی روی میز به حالت سکون قرار دارد.

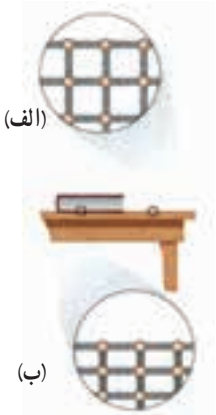
همان‌طور که مشاهده می‌شود، جسم ساکن و شتاب حرکت آن صفر است (a = ۰). از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است (F = ma = ۰). در نتیجه باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد شود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل ۳ــ۵ این نیرو از سطح میز به جسم وارد می‌شود. در شکل ۳ــ۶ نیروهای وارد برجسم نشان داده شده‌اند. نیروی $\vec{N}$ که از طرف میز برجسم وارد می‌شود و بر سطح میز عمود است را «نیروی عمودی سطح» می‌نامیم. برای این شکل با استفاده از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود :



شکل ۳ــ۶ــ نیروهای $\vec{N}$ و $\vec{W}$ بر کتاب وارد می‌شوند.

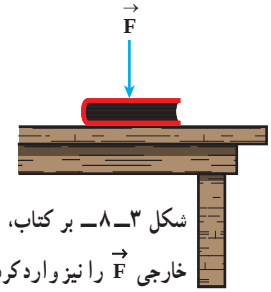
$$F_{\text{برایند}} = ma = ۰$$
$$N - W = ۰$$
$$N = W$$

نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است. برای مثال وقتی جسمی نه چندان سبک را روی سطح اسفنج قرار دهیم تغییر شکل اسفنج به‌خوبی دیده می‌شود. در این حالت اسفنج به جسم نیرو وارد می‌کند. اما وقتی جسم را روی سطحی سخت مانند میز بگذاریم تغییرشکل سطح میز جزئی است و با چشم قابل تشخیص نیست. اگر نیروی بین مولکول‌های سطح میز را با نیروی فنرهایی که مولکول‌ها را به‌هم وصل می‌کند مدل‌سازی کنیم، با قرار گرفتن جسم روی سطح میز مثل آن است که فنرها فشرده یا کشیده می‌شوند (شکل ۳ــ۷) و نیروی برایندی روبه‌بالا به جسم وارد می‌کنند که همان نیروی عمودی سطح است.



شکل ۳ــ۷ــ نیروی بین مولکول‌های سطح میز با فنرهایی شبیه‌سازی شده است. با قرار گرفتن کتاب، فنرها فشرده شده‌اند.

اکنون فرض کنید مطابق شکل ۳ــ۸ نیرویی به اندازهٔ F را به‌طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنیم. آیا نیروی عمودی سطح، که میز بر جسم وارد می‌کند، تغییر می‌کند؟ با روش مشابه قبل می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد.

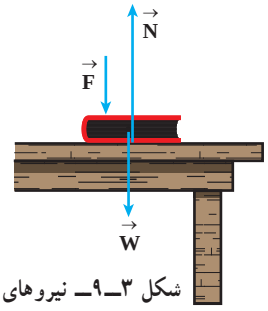


شکل ۳ــ۸ــ بر کتاب، نیروی خارجی $\vec{F}$ را نیز وارد کرده‌ایم.

نیروهای وارد بر جسم را در شکل ۳ــ۹ نشان داده‌ایم. چون شتاب جسم صفر است بنابه قانون دوم نیوتون داریم :

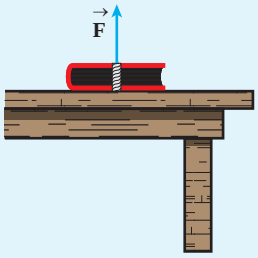
$$F_{\text{برایند}} = ma = ۰$$
$$N - F - W = ۰$$
$$N = F + W$$

بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.



شکل ۳ــ۹ــ نیروهای وارد بر کتاب در حضور نیروی $\vec{F}$

فعالیت ۳ـ۵



فرض کنید مطابق شکل، طنابی را به دور یک جسم بسته‌ایم و آن را با نیرویی به بزرگی F به سوی بالا می‌کشیم. اگر جسم همچنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی سطح وارد بر آن را برحسب F و W بنویسید.

همان‌گونه که دیدیم، برای به دست آوردن اندازهٔ نیروی عمودی سطح همواره از قانون دوم نیوتون استفاده می‌شود.

فعالیت ۳ـ۶

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

الف) ساکن روی ترازو ایستاده‌اید.

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

پ) با دست میز را به بالا بکشید.

به‌نظر شما ترازوی فنری اندازهٔ چه کمیتی را نشان می‌دهد؟

مثال ۳ـ۷

شخصی به جرم ۵۰kg درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که کف آسانسور به شخص وارد می‌کند را در حالت‌های زیر محاسبه کنید :

الف) آسانسور ساکن است.

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

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

g را برابر $10m/s^2$ بگیرید.

پاسخ :

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

$$a = 0$$

$$F_{\text{برایند}} = N - W = 0$$

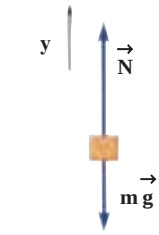
$$N = W = mg$$

$$N = 50 \times 10 = 500N$$

ب) در این حالت نیز شتاب حرکت صفر است و با محاسبه‌ای مانند حالت الف نتیجه می‌شود که $N = ۵۰۰\ N$ است.

پ) در این حالت شتاب حرکت رو به بالا است و با توجه به قانون دوم نیوتون برایند نیروها نیز روبه بالا خواهد بود.

(الف)



نیروهای وارد به شخص

(ب)

$$F_{\text{برایند}} = ma$$
$$N - W = ma$$
$$N - ۵۰۰ = ۵۰ \times ۱$$
$$N = ۵۵۰ N$$

تمرین ۳ـ۳

در مثال ۳ـ۶ فرض کنید آسانسوری که به‌طرف بالا در حرکت است با رسیدن به طبقهٔ موردنظر با شتاب روبه پایین $۲ m/s^۲$ از سرعت خود می‌کاهد. در این حالت نیروی عمودی‌ای که کف آسانسور به شخص وارد می‌کند چند نیوتون است؟

نیروی اصطکاک: در تجربه‌های روزانه دیده‌اید که برای به حرکت در آوردن صندوق سنگینی که روی سطح افقی ساکن است باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند. بنابراین باید نیرویی در خلاف جهت نیرویی که به صندوق وارد کرده‌اید، به آن وارد شده باشد. این نیرو را نیروی اصطکاک ایستایی می‌نامیم.

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

با توجه به اینکه نیرو عامل تغییر سرعت است، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت به جسم وارد شده باشد. این نیرو را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامیم. نیروی اصطکاک را در دو حالت بررسی می‌کنیم.

الف) اصطکاک ایستایی: فرض کنید جسمی مطابق شکل ۳ـ۱۰ـ الف روی یک سطح افقی ساکن است. به جسم نیروی افقی $\vec{F}$ را وارد می‌کنیم. در ابتدا اندازهٔ این نیرو را کوچک و برابر $F_۱$ می‌گیریم به‌طوری‌که جسم ساکن بماند (شکل ۳ ـ ۱۰ـ ب)، چون جسم ساکن است بنا به قانون دوم نیوتون باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند $\vec{f}_s$ به جسم وارد شده باشد تا با خنثی کردن اثر نیروی $\vec{F}_۱$، مانع شتاب گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی $\vec{f}_s$ از

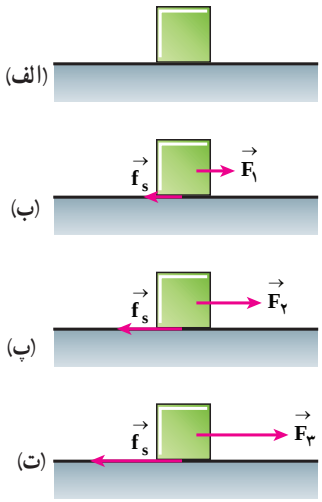
طرف سطح به جسم وارد می‌شود. به این نیرو، «نیروی اصطکاک ایستایی» می‌گوییم.

$$F_{\text{برایند}} = ma = 0$$

$$F_1 - f_s = 0$$

$$f_s = F_1$$

اکنون فرض کنید اندازهٔ نیروی $\vec{F}_1$ را افزایش داده و به اندازهٔ $\vec{F}_2$ رسانده‌ایم (شکل ۳ــ۱۰ــپ). اگر جسم همچنان ساکن بماند، با استدلالی شبیه قبل نتیجه می‌گیریم که نیروی اصطکاک ایستایی افزایش یافته و برابر اندازهٔ $\vec{F}_2$ شده است. بنابراین با افزایش نیروی $\vec{F}$ نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی $\vec{F}$ به حالتی می‌رسیم که اگر اندازهٔ آن برابر $\vec{F}_3$ شود، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ از مقدار $\vec{F}_3$ اندکی بیشتر شود دیگر جسم ساکن نمی‌ماند و شروع به حرکت می‌کند (شکل ۳ــ۱۰ــت). به نیروی اصطکاک در این حالت «نیروی اصطکاک در آستانهٔ حرکت» می‌گوییم. بزرگی این نیرو برابر با بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی است و آن را با $f_{s,max}$ نشان می‌دهیم. آزمایش نشان می‌دهد که بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی با اندازهٔ نیروی عمودی سطح (N) متناسب است. بنابراین از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در این حالت، $f_{s,max} = F_3$ است.



شکل ۳ــ۱۰ــ با افزایش نیروی پیشران F، f_s افزایش می‌یابد تا اینکه به یک مقدار بیشینهٔ معین برسد.

$$f_{s,max} = \mu_s N \qquad (۶ــ۳)$$

در این رابطه μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و ... بستگی دارد.

از رابطهٔ ۳ــ۶ نتیجه می‌شود که μ_s کمیتی بدون یکا است. توجه کنید که رابطهٔ ۳ــ۶ فقط در حالتی به‌کار می‌رود که جسم در آستانهٔ حرکت باشد. بنابراین :

$$f_s \le \mu_s N \qquad (۷ــ۳)$$

تمرین ۳ــ۴

اگر درشکل ۳ــ۱۰، بزرگی نیروهای $F_1=2N$، $F_2=4N$، $F_3=6N$ و جرم جسم ۱/۵ kg باشد، الف) بزرگی نیروهای اصطکاک ایستایی f_s را در هر حالت به‌دست آورید. ب) ضریب اصطکاک ایستایی μ_s را پیدا کنید. ($g=10\,m/s^2$ در نظر بگیرید)

آزمایش ۳ـ۱

وسایل لازم : نیروسنج، دو قطعهٔ چوبی هم جرم به شکل مکعب مستطیل، ترازو

شرح آزمایش :

۱ـ مکعب چوبی را از طرف وجه بزرگ آن، روی سطح افقی میز قرار دهید.

۲ـ نیروسنج را مانند تصویر به مکعب چوبی وصل کنید و سر دیگر نیروسنج را با دست بگیرید و به‌طور افقی بکشید.

۳ـ نیروی دستتان را به آرامی افزایش دهید تا جایی که احساس کنید مکعب چوبی در آستانهٔ لغزیدن قرار گرفته است. در این حالت عددی که نیروسنج نشان می‌دهد، برابر با نیروی اصطکاک در آستانه حرکت است. این عدد را در جدول یادداشت کنید.

۴ـ اکنون مکعب چوبی را از طرف وجه کوچک‌تر روی سطح قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

۵ـ مکعب دوم را روی مکعب اول قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

۶ـ با اندازه‌گیری جرم هر قطعه و استفاده از رابطهٔ ۳ـ۶ مقدار μ_s در هر آزمایش را محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

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

۷ـ همراه با اعضای گروه خود، نتیجه‌های به‌دست آمده را تفسیر کنید.

ب) نیروی اصطکاک جنبشی : دیدیم بر جسمی که روی سطحی می‌لغزد (مانند اسکی‌باز شکل ۳ـ۱۱) نیرویی از طرف سطح وارد می‌شود که موازی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. این نیرو را که نیروی اصطکاک جنبشی نامیدیم با f_k نشان می‌دهیم.

آزمایش نشان می‌دهد که اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازهٔ نیروی عمودی سطح است. یعنی $f_k \propto N$ است. این نیرو به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد. ضریب این تناسب را با μ_k نشان می‌دهند و به آن ضریب اصطکاک جنبشی می‌گویند.

شکل ۳ـ۱۱ـ اسکی‌باز بر سطح برف می‌لغزد.

$$f_k = \mu_k N \qquad (۸ـ۳)$$

تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک جنبشی مانند ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و ... بستگی دارد. ضریب اصطکاک جنبشی هم مانند ضریب اصطکاک ایستایی کمیتی بدون یکا است. معمولاً ضریب اصطکاک جنبشی میان دو سطح، کمتر از ضریب اصطکاک ایستایی میان آن دو سطح است. یعنی $\mu_k < \mu_s$. جدول ۳ــ۱ برخی از ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ــ۱ــ ضریب‌های اصطکاک ایستایی و جنبشی

ماده	μ_k	μ_s
فولاد بر فولاد	۰/۶	۰/۷
فولاد بر سرب	۰/۹	۰/۹
فولاد بر مس	۰/۴	۰/۵
مس بر چدن	۰/۳	۱/۱
مس بر شیشه	۰/۵	۰/۷
چوب اسکی موم اندود شده بر برف در $-۱۰^\circ C$	۰/۲	ــ
چوب اسکی موم اندود شده برف در $0^\circ C$	۰/۰۵	ــ
لاستیک بر بتون	$\simeq ۱$	$\simeq ۱$

فعالیت ۳ــ۷

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید :

الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید و با استفاده از آن μ_k را به‌دست آورید.

ب) نشان دهید نیروی اصطکاک جنبشی به‌طور محسوسی به مساحت سطح تماس دوجسم بستگی ندارد.

مثال ۳ــ۷

شکل مقابل شخصی را در حال هُل دادن یک کمد ۷۵ کیلوگرمی نشان می‌دهد. نیرویی که شخص به کمد وارد می‌کند افقی و کمد در حال حرکت است. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و کمد ۰/۴ باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد به کمد چقدر است؟

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

$$N - W = ۰ \Rightarrow N = W = mg$$

$$\Rightarrow N = ۷۵۰ N$$

با استفاده از رابطهٔ ۳ــ۸ داریم :

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow f_k = ۰/۴ \times ۷۵۰ \Rightarrow f_k = ۳۰۰ N$$

مثال ۳ـ۸

در مثال ۳ـ۷ اگر شخص کمد را با نیروی $F = ۳۳۰N$ هل دهد شتاب حرکت کمد چقدر خواهد شد؟

پاسخ : از قانون دوم نیوتون برای محاسبه شتاب استفاده می کنیم.

برایند نیروهای افقی وارد بر جسم برابر است با :

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

و در نتیجه

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

$$a = \frac{۳۰}{۷۵} = ۰/۴ m/s^۲$$

نیروی کشسانی فنر : با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می دانید که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنید و سر دیگر آن را بکشید، طول فنر افزایش می یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را افزایش دهید افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

آزمایش ۳ـ۲

وسایل لازم : فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت، خط کش

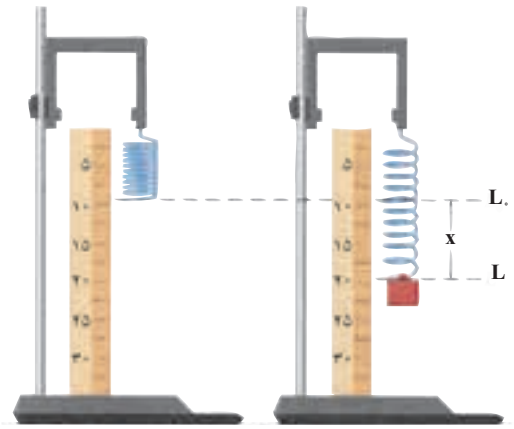
شرح آزمایش :

۱ــ فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.

۲ــ وزنه‌های مختلف را به انتهای فنر بیاویزید و بعد از آنکه دستگاه وزنه ــ فنر به حال سکون درآمد، طول فنر را اندازه بگیرید.

در این حالت نیروی وارد بر فنر هم‌اندازه با وزن جسم آویزان است.

۳ــ جدول زیر را تکمیل و نتیجه آزمایش را در گروه خود تفسیر کنید و به کلاس ارائه دهید.



شماره آزمایش	وزن جسم آویخته به فنر (W)	طول فنر بدون وزنه	طول فنر کشیده شده	تغییر طول فنر (x)	نسبت $\frac{W}{x}$
۱					
۲					
۳					
۴					

آزمایش‌های متعدد مانند آزمایش ۳ــ۲ نشان می‌دهد که تغییر طول فنر تقریباً با اندازهٔ نیروی وارد بر آن متناسب است. اگر اندازهٔ نیروی وارد بر فنر را با نماد F_e و اندازهٔ تغییر طول فنر را با x نشان دهیم، بین آنها رابطهٔ زیر برقرار است :

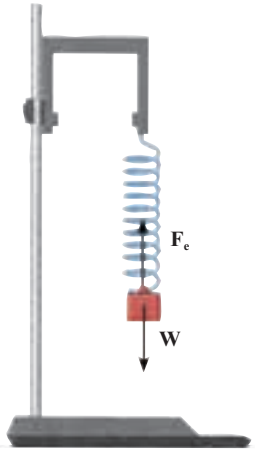
$$F_e = kx \qquad (۹ــ۳)$$

ضریب k در رابطه ۳ــ۹، ثابت فنر نام دارد. ثابت فنر از مشخصات فنر است. در رابطهٔ ۳ــ۹ نیرو برحسب نیوتون (N)، x برحسب متر (m) و k بر حسب نیوتون بر متر(N/m) است.

فعالیت ۳ــ۸

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

مثال ۳ــ۹



ثابت یک فنر ۵۰N/m و طول آن ۱۰cm است. فنر را از یک نقطه می‌آویزیم و به انتهای آن وزنهٔ ۲۰۰ گرمی وصل می‌کنیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

پاسخ :

$F_{برایند} = ma$

$F_e - W = ۰$

$kx = mg$

$۵۰x = ۰/۲ \times ۱۰$

$x = ۰/۰۴m = ۴cm$

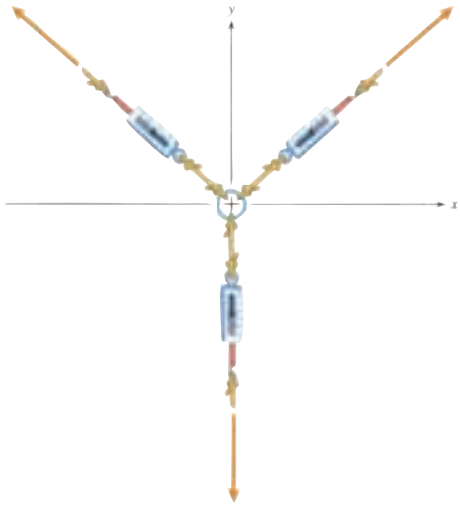
$x = L - L_۰ \Rightarrow ۴ = L - ۱۰ \Rightarrow L = ۱۴cm$

گفتیم نیرو کمیتی برداری است. با اجرای آزمایش ۳ــ۳ می‌توانید بررسی کنید که آیا نیرو از جمع برداری پیروی می‌کند یا نه؟

آزمایش ۳ـ۳

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

شرح آزمایش :



۱ــ حلقه را روی صفحهٔ کاغذ قرار دهید و نیروسنج‌ها را مطابق شکل به حلقه وصل کنید.

۲ــ سه نفر از اعضای گروه، هرکدام یکی از نیروسنج‌ها را به‌گونه‌ای بکشند که حلقه ساکن باشد. در این حالت اندازه نیروها را بخوانید و جهت نیروها را روی کاغذ مشخص کنید.

۳ــ با مقیاس مناسب برای اندازهٔ نیروها و درنظر گرفتن جهت آنها، نیروها را روی صفحهٔ کاغذ رسم کنید.

۴ــ با به‌کار بردن روش متوازی‌الاضلاع در جمع بردارها، برایند دوتا از نیروها را رسم کنید و نشان دهید که بردار برایند هم اندازه با بردار سوم و در خلاف جهت آن است.

۳ــ۴ استفاده از قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت

در این کتاب از آنچه در مورد قانون‌های نیوتون و معرفی نیروها یاد گرفتیم برای حل مسئله‌هایی استفاده می‌کنیم که در آنها نیروهای وارد بر جسم در یک راستا و یا بر یکدیگر عمود باشند. برای این منظور، به‌طور معمول مرحله‌های زیر را طی می‌کنیم.

۱ــ با مشخص کردن جسم موردنظر شکل ساده‌ای از آن را رسم می‌کنیم.

۲ــ نیروهای وارد بر جسم از طرف اجسام دیگر را مشخص و رسم می‌کنیم. (در این کتاب، این نیروها فقط در راستاهای افقی و قائم هستند.)

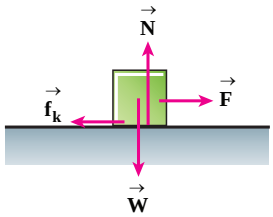
۳ــ در صورت لزوم نیروهایی مانند وزن، اصطکاک، کشسانی فنر و ... را محاسبه می‌کنیم.

۴ــ قانون دوم نیوتون ($\vec{F}_{\text{برایند}} = m\vec{a}$) را بنا به نیاز در راستای قائم و سپس افقی به‌کار می‌بریم.

مثال ۳ـ۱۰

در شکل روبه‌رو، کارگری سورتمهٔ حاوی بار را با نیروی افقی ۲۷۰N می‌کشد. اگر جرم سورتمه و بار آن ۱۰۰kg و ضریب اصطکاک جنبشی بین سورتمه و سطح ۰/۲۵ باشد، شتاب حرکت سورتمه را حساب کنید. ($g = 10\ N/kg$)

پاسخ : در شکل روبه‌رو، نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است.



شتاب جسم در راستای قائم صفر و جسم در این راستا حرکت نمی‌کند.

بنابراین :

$$N-W=0 \Rightarrow N=W=mg \Rightarrow N=1000N$$

$$f_k=\mu_k N=0/25\times 1000 \Rightarrow f_k=250N$$

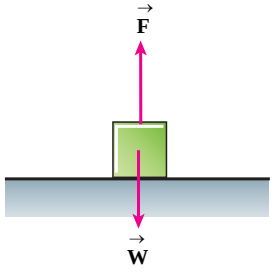
قانون دوم نیوتون را برای نیروهای وارد بر جسم در راستای افقی به‌کار می‌بریم :

$$F_{\text{برایند}}=ma \Rightarrow F-f_k=ma \Rightarrow 270-250=100a \Rightarrow a=0/2\ m/s^2$$

مثال ۳ـ۱۱

جسمی به جرم ۲kg روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم می‌بندیم و طناب را با نیروی ۲۵N به‌طور قائم بالا می‌کشیم. شتاب حرکت جسم چقدر می‌شود؟

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



$$F_{\text{برایند}} = ma$$

$$F - W = ma$$

$$25 - 20 = 2a$$

$$a = 2/5\ m/s^2$$

مثال ۳ـ۱۲

جسمی به جرم ۴kg روی سطح افقی با نیروی افقی ۱۰/۸N کشیده می‌شود. سرعت جسم در مدت ۵s با شتاب ثابت از ۴m/s به ۱۰m/s می‌رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. (g=۱۰N/kg)

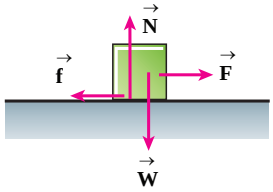
پاسخ : چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطهٔ ۲ـ۷ استفاده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = at + v_0$$

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

$$5a = 6 \Rightarrow a = 1/2 m/s^2$$

نیروهای وارد برجسم در شکل نشان داده شده است.



$$N = W = 40N$$

آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت :

$$F_{\text{برایند}} = ma$$

$$F - f_k = ma$$

$$10/8 - f_k = 4 \times 1/2 \Rightarrow f_k = 6N$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{f_k}{N} \Rightarrow \mu_k = \frac{6}{40} = 0/15$$

بنوموسی

بنوموسی، سه برادر به نام‌های محمد، احمد و حسن فرزندان موسی‌بن شاکر خوارزمی از برجسته‌ترین دانشمندان و مهندسان ایرانی قرن سوم هجری بودند. این سه برادر در فعالیت‌های علمی با یکدیگر همکاری داشتند و عمدهٔ شهرت آنها به سبب فعالیت‌های علمی آنان است. بنوموسی در تلاش برای دستیابی به علوم، اشخاصی را با هزینهٔ شخصی به سرزمین روم می‌فرستادند و مترجمان را با دادن عطایا و بخشش‌های گزاف به مرکز خلافت جلب می‌کردند. محمد خود به آسیای صغیر سفر می‌کرد تا نسخه‌های کتب را خریداری کند. در حقیقت بنوموسی به‌طور مستقل، و نه به دستور خلفا، به جمع‌آوری کتب علمی و فلسفی و ترجمهٔ آنها مشغول بودند. با توجه به دانش و مهارت بنوموسی در علوم مختلف بسیاری از امور ساخت و مهندسی به ایشان سپرده می‌شد که از آن میان می‌توان به حفر برخی از نهرهای بزرگ چون نهر جعفریه و نهر عمودبن منجم در نزدیکی بصره اشاره کرد. آثار متعددی توسط برادران بنوموسی نوشته شده است که کتاب الحیل از مهم‌ترین آنهاست که خوشبختانه هنوز هم باقی مانده است. علم الحیل را می‌توان همان مهندسی مکانیک امروزی خواند. این کتاب در ۶ فصل از ابزارها و دستگاه‌های مکانیکی و هیدرولیکی همچون چگالی‌سنج، فوارهٔ توربینی، دستگاه خون‌گیری، دستگاه‌های بالابر آب و... سخن می‌گوید. تاریخ‌نویسان داخلی و خارجی در ستایش این کتاب بسیار سخن گفته‌اند.

در سال ۱۳۴۰ هـ .ش هاوزر در کتاب جداگانه‌ای به شرح و بررسی کتاب الحیل پرداخت. این کتاب در سال ۱۳۸۵ هـ.ش به انگلیسی ترجمه شد و در مقدمهٔ کتاب اسامی به‌کار رفته در دستگاه‌های بنوموسی همراه با شکل‌های توصیفی نیز آمده است. از دیگر کتاب‌های بنوموسی که هنوز موجودند می‌توان به کتاب‌های معرفة مساحة الاشکال البسیطه و الکرّیّه در هندسه، رؤیة الهلال و الدرجات فی طبایع البروج در نجوم اشاره کرد.

پرسش‌های فصل سوم

۱ کمربند نجات در خودرو چگونه در جاده‌ها، سرنشینان خودرو را از وارد شدن صدمه‌های احتمالی حفظ می‌کند؟

۲ در فیلمی علمی ــ تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای خلأ خارج از جوّ زمین و دور از هر سیاره‌ای در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه کشتی فضایی کُند شده و می‌ایستد. آیا این تصویری صحیح از واقعیت است؟ قانون اول نیوتون دربارهٔ این رویداد چه می‌گوید؟

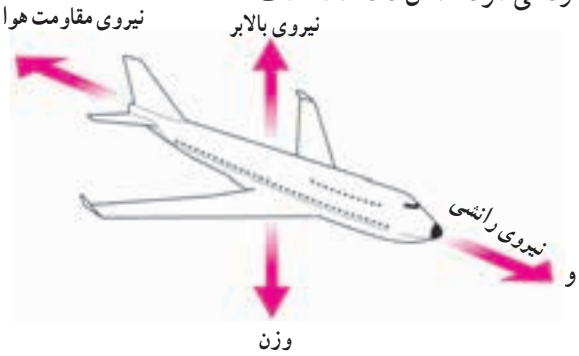
۳ در هر یک از موردهای زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف) سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید

ب) توپی که به دیوار برخورد می‌کند.

پ) قایقی ساکن بر آب یک دریاچه

۴ در شکل روبه‌رو چهار نیرویی که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد می‌شود، نشان داده شده است. بزرگی این نیروها را در موقعیت‌های زیر بیان کنید.



الف) هواپیما در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.

ب) هواپیما شتاب رو به‌جلو و رو به بالا دارد.

پ) هواپیما شتاب رو به عقب و رو به پایین دارد.

۵ در هریک از موردهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کنید و نیروهای وارد بر آن را نشان دهید :

الف) جسمی که در هوا در حال سقوط است.

ب) جسمی که برروی سطح افقی دارای اصطکاک در حال حرکت است.

پ) چراغی که از یک سقف آویزان است.

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

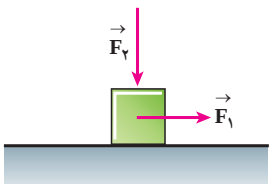
۷ فرض کنید فضانوردی روی یک سیاره فرود آید که در آن $g = ۱۹/۶ m/s^۲$ است. آیا قدم زدن روی این سیاره در مقایسه با زمین ساده‌تر است یا سخت‌تر؟

۸ نیروی قائم $\vec{F}$ بر قطعه‌ای به جرم m که روی زمین قرار دارد، وارد می‌شود. اگر بزرگی نیروی $\vec{F}$ از صفر افزایش یابد، در هر یک از موارد زیر نیروی عمودی سطح ($\vec{N}$) چگونه تغییر می‌کند؟

الف) $\vec{F}$ رو به پایین باشد.

ب) $\vec{F}$ رو به بالا باشد.

۹ در شکل روبه‌رو، نیروی $\vec{F_۱}$ به بزرگی ۱۰N بر جعبه‌ای واقع بر کف زمین وارد می‌شود. ولی جعبه نمی‌لغزد. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم $\vec{F_۲}$ که جعبه را به سطح زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، الف) کمیت‌های زیر افزایش می‌یابند یا کاهش یا بدون تغییر می‌مانند؟



I) بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی f_s وارد بر جعبه

II) بزرگی نیروی عمودی سطح N وارد بر جعبه

III) مقدار بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

ب) آیا جعبه سرانجام خواهد لغزید؟

مسائل فصل سوم

۱ دونده‌ای به جرم ۶۰kg با شتاب $5m/s^2$ شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.
الف) اندازهٔ نیرویی که این شتاب را به دونده می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونده وارد می‌شود؟
ب) واکنش نیرویی را که در قسمت (الف) محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟

۲ دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند ، تحت تأثیر نیروهایی یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان t، سرعت آنها به‌ترتیب برابر v_1 و v_2 شود، نسبت $\frac{v_2}{v_1}$ را محاسبه کنید.

۳ خودرویی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت ۱۰۰m با شتاب ثابت، سرعتش به ۲۰m/s می‌رسد. برایند نیروهای وارد بر خودرو را در این حرکت محاسبه کنید.

۴ خودرویی به جرم ۹۰۰kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸s به‌سرعت ۱۲m/s می‌رسد.
الف) برایند نیروهای وارد بر خودرو در این مدت چقدر است؟
ب) نیروی رو به جلو که به خودرو وارد می‌شود را در صورتی که نیروهای مقاوم در مقابل حرکت خودرو ۴۵۰N باشد، محاسبه کنید.

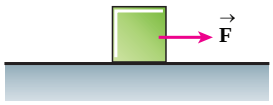
۵ خودرویی به جرم ۱۲۰۰kg با سرعت ۷۲km/h روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و خودرو پس از پیمودن مسافت ۱۰۰m می‌ایستد.
الف) شتاب حرکت خودرو پس از ترمز چقدر است؟
ب) نیروی اصطکاک وارد بر خودرو را محاسبه کنید.

۶ در چه ارتفاعی از سطح زمین نیروی گرانشی ۱۰٪ کاهش می‌یابد؟ شعاع زمین را ۶۳۷۰km فرض کنید.

۷ الف) نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.
ب) نیروی گرانشی ماه بر زمین چقدر است؟
(جرم زمین $6 \times 10^{24}kg$، جرم ماه $7/4 \times 10^{22}kg$، فاصلهٔ ماه از زمین 4×10^5km و $G = 6/7 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$ درنظر بگیرید.)

۸ در سه آزمایش، سه نیروی افقی متفاوت بر قطعه‌ای که بر سطح تختی قرار گرفته است، وارد می‌شود. بزرگی این نیروها عبارتند از $F_1 = 4N$، $F_2 = 8N$ و $F_3 = 12N$. در هر آزمایش، قطعه به رغم نیروی وارد برآن ساکن باقی می‌ماند.
الف) نیروی اصطکاک ایستایی f_s وارد از سطح بر قطعه در هر حالت چقدر است؟
ب) در مورد مقدار بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی چه می‌توان گفت؟

۹ جسمی را با سرعت افقی ۱۰m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر ۰/۲ است.
الف) جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به‌ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول و ضریب اصطکاکش با سطح همان ضریب اصطکاک قبلی است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟



۱۰ جسمی به جرم ۵kg روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد . به جسم نیروی افقی F را وارد می‌کنیم.

الف) به ازای F = ۱۵N جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چقدر است؟

ب) به‌ازای F = ۲۰N جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد و با ضربهٔ افقی بسیار کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸s مسافت ۳۲m را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۱ می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵kg است، شتاب ۲m/s² بدهیم. نیرویی را که باید به آن وارد کنیم در هر یک از حالت‌های زیر محاسبه کنید :

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲ به طرف راست حرکت می‌کند، و شتابش نیز به طرف راست است.

پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به‌حرکت کند.

ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

۱۲ وزنه‌ای به جرم ۲kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت ۲m/s رو به پایین در حرکت است.

پ) آسانسور با شتاب ثابت و روبه پایین ۲m/s² از حال سکون رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

ت) آسانسور با شتاب ثابت و روبه بالای ۲m/s² از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۳ برای یک راننده دانستن مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد کلّ مسافت توقف، دو قسمت دارد.

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

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

پ) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶s است. در طی این زمان، خودرو ۲۴m طی می‌کند. سرعت خودرو را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می‌کند و خودرو پس از ۱۰s متوقف می‌شود. شتاب کاهندهٔ خودرو را حساب کنید.

ث) وقتی خودرو ترمز کند، برایند نیروهای وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱ تُن فرض کنید.