فصل ۲

دینامیک و حرکت دایره‌ای

امروزه تعداد زیادی ماهواره در مدارهایی به دور زمین می‌چرخند، بدون آنکه چرخش آنها به سوختی نیاز داشته باشد. این مدارها تقریباً دایره‌ای‌اند و زمین در مرکز آنها قرار دارد. آیا می‌دانید ماهواره‌ها تحت تأثیر چه نیرویی در مدار خود باقی می‌مانند و اگر این نیرو وجود نداشته باشد حرکت آنها چگونه خواهد شد؟ با مطالعهٔ این فصل می‌توانید به این نوع پرسش‌ها پاسخ دهید و حتی می‌توانید زمان یک دور چرخش و تندی ماهواره را در یک مدار تعیین کنید.

تفاوت حرکت شناسی (سینماتیک) و دینامیک

در فصل اول با کمیت‌های مکان، تندی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و حرکت یک جسم را به کمک آنها توصیف کردیم اما از علت انواع حرکت، پرسشی مطرح نشد، مثلاً در چه صورت حرکت جسم با سرعت ثابت است؟ در چه صورت جسم دارای حرکت با شتاب ثابت روی خط راست است؟ در چه صورت جسم ساکن می‌ماند؟ و . . . .

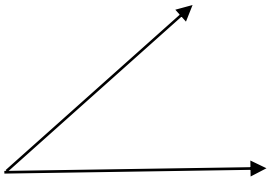
وقتی جسمی را می‌کشیم یا آن را هل می‌دهیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم. نیرو، حاصل برهم‌کنش یا اثر متقابل دو جسم بر یکدیگر است. نیرو کمیتی برداری است که علاوه بر اندازه، جهت نیز دارد (شکل ۲ـ۱). معمولاً نیرو را با $\vec{F}$ نشان می‌دهند[1]. در رسم نیرو از یک پاره‌خط جهت‌دار با مقیاس مناسب استفاده می‌شود؛ مثلاً در شکل ۲ـ۲، بردار وزن دو گلدان را مشاهده می‌کنید که با مقیاس مناسب رسم شده‌اند.

شکل ۲ـ۱ هنگام وارد کردن نیرو به توپ، باید جهت و اندازهٔ نیروی وارد بر توپ به گونه‌ای باشد که توپ به مکان مناسب و موردنظر بازیکنان برخورد کند.

شکل ۲ـ۲ گاهی برای سادگی فرض می‌شود که همهٔ جرم یک جسم در یک نقطه به نام مرکز جرم جسم متمرکز شده است و به‌جای آنکه نیرو به قسمت‌های مختلف جسم وارد شود به این نقطه وارد می‌شود.

نیرو را به کمک نیروسنج اندازه‌گیری می‌کنیم و یکای آن، نیوتون است که با نماد N نشان داده می‌شود. اثر نیرو بر یک جسم به شکل‌های مختلف مانند شروع به حرکت کردن، توقف، کم و زیاد شدن اندازهٔ سرعت (تندی)، تغییر جهت سرعت و تغییر شکل آن جسم، خود را نشان می‌دهد. با توجه به آنچه در مورد سرعت فراگرفتیم، می‌توان به‌طور خلاصه نشان داد که نیروی وارد بر یک جسم می‌تواند سبب تغییر سرعت جسم یا تغییر شکل آن شود.

سوال : برآیند دو نیروی رسم شده درزیر را بدست آورید.



پرسش ۲ـ۱

در شکل روبه‌رو یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. کدام نیروها اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند؟

سوال : هرگاه برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد. جسم چگونه حرکت می کند؟

قبل از سال ۱۶۰۰ میلادی دیدگاه رایج این بود که هر جسمِ در حال حرکتی برای ادامهٔ حرکت حتماً نیاز به نیرو دارد، ولی گالیله با طراحی آزمایش‌هایی ذهنی نتیجه گرفت که در نبود نیرو، حرکت جسم متحرک ادامه می‌یابد. نیوتون نظر گالیله را به‌صورت یک قانون بیان کرد که به نام قانون اول نیوتون شهرت دارد : «یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالصی (غیرصفر) به آن وارد شود». به عبارت دیگر وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند، اگر جسم ساکن باشد، همچنان ساکن باقی می‌ماند و اگر در حال حرکت باشد، سرعت جسم تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند.

پرسش ۲ـ۲

در فیلمی علمی ـ تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضایی کُند می‌شود و می‌ایستد. آیا امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.

فعالیت۲ـ۱

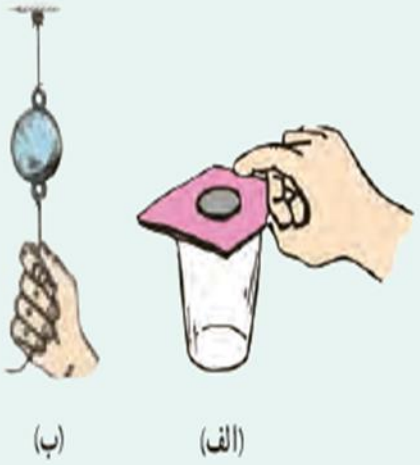
دربارهٔ آزمایش ذهنی گالیله تحقیق کنید و به کلاس گزارش دهید.

سوال : چرا اگر یک اتوبوس ناگهان

الف) حرکت کند مسافران به عقب پرت می شوند؟

ب) ترمز کند به جلو پرت می شوند؟

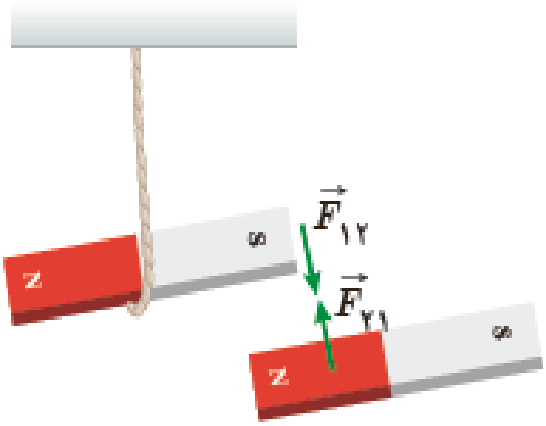
پرسش ۲ـ۳



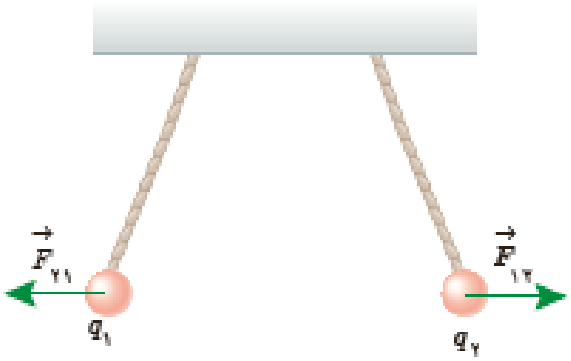
الف) چرا حرکت سریع مقوا در شکل الف، سبب افتادن سکه در لیوان می‌شود؟

ب) چرا در شکل ب، اگر به‌آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؟

قانون سوم نیوتون : وقتی فنری را می‌کشید، فنر نیز شما را می‌کشد. در برخورد راکت با توپ تنیس، راکت به توپ نیرو وارد می‌کند و توپ نیز به راکت نیرو وارد می‌کند. اگر شما دیوار را هل دهید. دیوار نیز شما را هل می‌دهد. دو بار الکتریکی بدون آنکه با هم تماس داشته باشند به هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. همچنین دو قطب آهن‌ربا بدون تماس با یکدیگر به هم نیروی مغناطیسی وارد می‌کنند (شکل ۲ـ۴). در این مثال‌ها نیرو اثر متقابل دو جسم بر یکدیگر است.



شکل ۲ـ۴ نیروهای کنش و واکنش هم اندازه، هم‌راستا و در خلاف جهت یکدیگرند.



سوال : ویژگی های نیروها ی کنش و واکنش را بنویسید. بین یک چکش و میخ چه رابطه ای با هم دارند؟

نیروها همواره به‌صورت جفت وجود دارند. اگر یکی از این نیروها را کنش بنامیم، نیروی دیگر واکنش نامیده می‌شود. قانون سوم نیوتون رابطهٔ کمّی بین 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 و هم‌راستا اما در خلاف جهت وارد می‌کند.

بر اساس قانون سوم نیوتون، در تمام مثال‌های بالا، هر دو نیرو هم‌اندازه و هم‌راستا ولی در خلاف جهت یکدیگرند و می‌توانیم بنویسیم :

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} \qquad \text{(قانون سوم نیوتون)} \qquad (۲_۲)$$

توجه داریم ممکن است نیروهای کنش و واکنش منجر به اثرات متفاوتی شود؛ مثلاً هنگام کوبیدن میخ در قطعه‌ای چوب، چکش به میخ نیرو وارد می‌کند و سبب فرورفتن میخ در چوب می‌شود. نیروی وارد از میخ به چکش حرکت چکش را کُند و متوقف می‌کند (شکل ۲ــ۵).

توجه کنید که نیروهای کنش و واکنش همواره به دو جسم وارد می‌شوند و هم‌نوع‌اند؛ مثلاً هر دو الکتریکی‌اند، یا هر دو مغناطیسی‌اند یا هر دو گرانشی‌اند و یا . . . .

شکل ۲ــ۵ چکش به میخ نیرو وارد می‌کند و میخ به چکش. این نیروها هم‌اندازه، هم‌راستا و در خلاف جهت یکدیگرند.

مثال ۲ـ۳

دو شخص به جرم‌های ۷۵/۰kg و ۵۰/۰kg با کفش‌های چرخ‌دار در یک سالن مسطح و صاف روبه‌روی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی ۱۰۰/۰N شخص دوم را به طرف راست هُل می‌دهد.

الف) شتابی که شخص دوم می‌گیرد چقدر است؟

ب) شتابی که شخص اول می‌گیرد چقدر است؟

پاسخ : از قانون سوم نیوتون می‌دانیم نیرویی که شخص اول به دوم وارد می‌کند ($\vec{F}_{۱۲}$) هم‌اندازه و در خلاف جهت نیرویی است که شخص دوم به اول وارد می‌کند ($\vec{F}_{۲۱}$). با انتخاب جهت مثبت محور x به طرف راست می‌توانیم بنویسیم :

$$\vec{F}_{۲۱} = -\vec{F}_{۱۲} \Rightarrow F_{۲۱} = F_{۱۲} = ۱۰۰/۰\text{N}$$

$$\vec{a}_{۲} = \frac{\vec{F}_{۱۲}}{m} = \frac{(۱۰۰/۰\text{N})\,\vec{i}}{۵۰/۰\text{kg}} = (۲/۰۰\frac{\text{N}}{\text{kg}})\,\vec{i} = (۲/۰۰\text{m/s}^{۲})\,\vec{i}$$

$$\vec{a}_{۱} = \frac{\vec{F}_{۲۱}}{m} = \frac{-(۱۰۰/۰\text{N})\,\vec{i}}{۷۵/۰\text{kg}} = -(۱/۳۳\frac{\text{N}}{\text{kg}})\,\vec{i} = -(۱/۳۳\text{m/s}^{۲})\,\vec{i}$$

توجه کنید نیروهای وارد بر هر دو نفر هم‌اندازه بوده است، اما به علت متفاوت بودن جرم‌ها، شتاب‌ها متفاوت شده است.

پرسش ۲ـ۵

شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آنکه نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم‌اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند؟

تست ۱)

در شکل روبه‌رو، بار اول نخ را به آرامی پایین می‌کشیم و به تدریج این نیرو را افزایش می‌دهیم تا یکی از نخ‌ها پاره شود. بار دوم همین آزمایش را به این ترتیب تکرار می‌کنیم که نخ را بصورت ضربه‌ای در یک لحظه به پایین می‌کشیم تا یکی از نخ‌های دو طرف وزنه پاره شود. در مورد این آزمایش کدام درست است؟

۱) در هر دو آزمایش نخ از قسمت پایین وزنه پاره می‌شود.

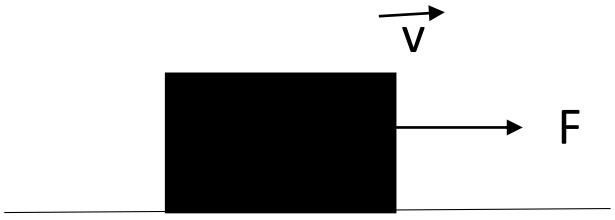
۲) در هر دو آزمایش نخ از قسمت بالای وزنه پاره می‌شود.

۳) در آزمایش اول نخ از بالای وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از پایین وزنه.

۴) در آزمایش اول نخ از پایین وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از بالای وزنه.

سوال : جسمی روی سطح که اصطکاک دارد با سرعت ثابت در حال حرکت است . اولا نیروهای وارد بر جسم را رسم کنید .

ثانیا عکس العمل هر نیرو را نیز مشخص کرده و رسم کنید.



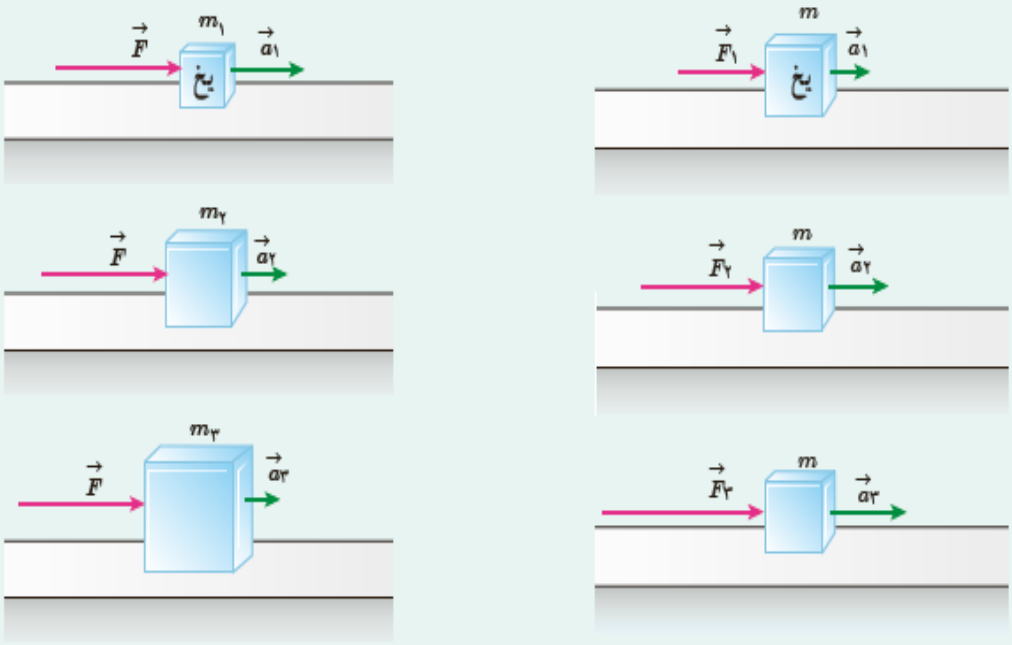
جسمی در هوا در حال سقوط است. واکنش نیروهای وارد بر جسم .....

۱) بر هوا وارد می‌شود. ۲) بر زمین و هوا وارد می‌شود. ۳) بر زمین وارد می‌شود. ۴) صفر است.

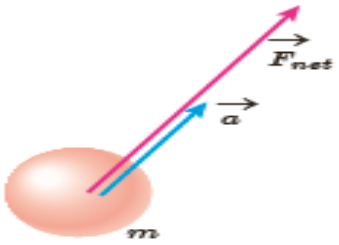
قانون دوم نیوتون : قانون اول نیوتون به بررسی حرکت جسمی می‌پردازد که نیروی خالص وارد بر آن صفر است. حال اگر نیروهای وارد بر جسم متوازن نباشند، یعنی نیروی خالصی بر جسم وارد شود، برای حرکت جسم چه اتفاقی می‌افتد؟ قانون دوم نیوتون به این پرسش پاسخ می‌دهد. همان‌طور که در علوم نهم دیدیم وقتی نیروی خالصی به جسمی وارد می‌شود، سرعت آن تغییر می‌کند و جسم تحت تأثیر آن نیرو، شتابی در جهت نیروی خالص پیدا می‌کند.

پرسش ۲ـ۴

در شکل‌های زیر، قطعه‌یخ‌ها روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. تفسیر خود را از این شکل‌ها بیان کنید.



مشاهدات مختلف نشان می‌دهد هر چه نیروی خالص وارد بر جسم بزرگ‌تر باشد شتابی که جسم می‌گیرد نیز بیشتر خواهد بود. جرم جسم نیز روی شتابی که این جسم می‌گیرد مؤثر است. با یک نیروی خالص معیّن، هر چه جرم جسم بیشتر باشد، شتاب آن کمتر است. یعنی شتاب با جرم نسبت وارون دارد.



شکل ۲ــ۳ شتاب جسم ($\vec{a}$) در جهت نیروی خالص وارد بر آن ($\vec{F}_{net}$) است.

چنین تجربیاتی در تأیید قانون دوم نیوتون است که بیان می‌کند :

هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد که این شتاب با نیروی خالص وارد بر جسم نسبت مستقیم دارد و در همان جهت نیروی خالص است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.

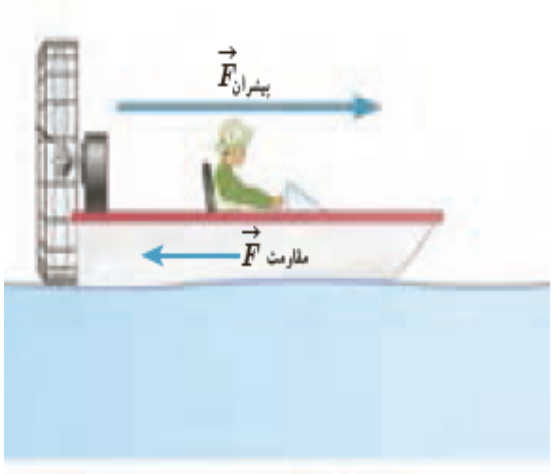
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$

و یا :

$$\vec{F}_{net} = m\,\vec{a} \qquad \text{(قانون دوم نیوتون)} \qquad (۲ــ۱)$$

یکای SI نیرو، نیوتون است. یک نیوتون برابر با مقدار نیروی خالصی[1] است که به جسمی به جرم یک کیلوگرم، شتابی برابر یک متر بر مربع ثانیه می‌دهد.

مثال ۲ــ۱



نیروی موتور یک قایق موتوری که جرم آن با سرنشینش ۴۰۰kg است، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در بازهٔ زمانی معینی، همواره نیروی افقی خالص ۸۰۰N به طرف جلو بر قایق وارد می‌شود.

الف) شتاب این قایق چقدر و در چه جهتی است؟

ب) اگر نیروی پیشران در یک لحظه ۱۳۰۰N باشد، نیروی مقاومت در آن لحظه چقدر است؟

پ) چقدر طول می‌کشد تا سرعت قایق از حالت سکون به ۱۵/۰ m/s برسد؟ در این مدت قایق چقدر جابه‌جا می‌شود؟

پاسخ : الف) از قانون دوم نیوتون برای پیدا کردن شتاب قایق استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه قایق در یک مسیر مستقیم حرکت می‌کند، می‌توان رابطهٔ ۲ـ۱ را برای یک راستا به‌صورت $a=\frac{F_{net}}{m}$ نوشت :

$$a=\frac{F_{net}}{m}=\frac{۸۰۰\text{N}}{۴۰۰\text{kg}}=۲/۰۰\text{N/kg}=۲/۰۰\text{m/s}^۲$$

با توجه به اینکه جهت شتاب همواره در جهت نیروی خالص است، شتاب قایق به طرف جلو خواهد بود.

ب) نیروی پیشران و مقاومت در یک راستا هستند، بنابراین می‌توانیم بنویسیم :

$$F_{net}=F_{\text{پیشران}}-F_{\text{مقاومت}} \Rightarrow ۸۰۰\text{N}=۱۳۰۰\text{N}-F_{\text{مقاومت}}$$

$$F_{\text{مقاومت}}=۵۰۰\text{N}$$

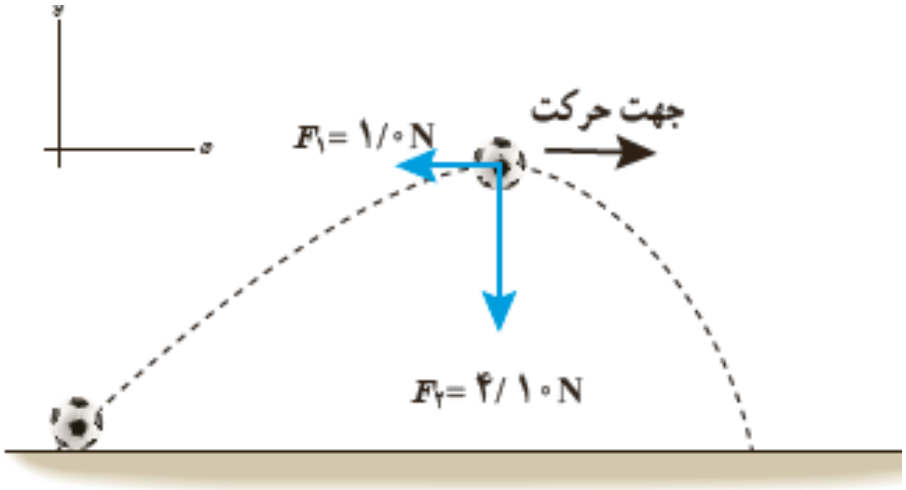
پ) از رابطهٔ سرعت ـ زمان و سرعت ـ جابه‌جایی در حرکت با شتاب ثابت استفاده می‌کنیم.

$$v=at+v_۰ \Rightarrow ۱۵/۰\ \text{m/s}=(۲/۰۰\text{m/s}^۲)t+۰\text{m/s} \Rightarrow t=۷/۵\text{s}$$

$$v^۲=v_۰^۲+۲a\Delta x \Rightarrow \Delta x=\frac{v^۲-v_۰^۲}{۲a}=\frac{(۱۵/۰\text{m/s})^۲-(۰/۰\text{m/s})^۲}{۲(۲/۰۰\text{m/s}^۲)}=۵۶/۳\text{m}$$

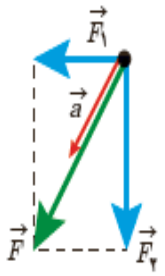
به این ترتیب با داشتن نیروی خالص می‌توانیم کمیت‌های شتاب، سرعت، زمان حرکت، مکان و جابه‌جایی را به‌دست آوریم.

شکل روبه‌رو نیروهای وارد بر توپ فوتبالی به جرم ۴۲۰g را در بالاترین نقطهٔ مسیرش نشان می‌دهد که در آن $\vec{F}_۱$ نیروی مقاومت هوا و $\vec{F}_۲$ وزن توپ است. جهت و بزرگی شتاب توپ در این نقطه را تعیین کنید[۱]. از نیروهای دیگر وارد بر توپ صرف‌نظر می‌شود.



پاسخ : جهت شتاب در جهت نیروی خالص (برایند) است.

$$\vec{F}_۲ = (-۴/۱۰\text{N})\,\vec{j} \quad \text{و} \quad \vec{F}_۱ = (-۱/۰\text{N})\,\vec{i}$$



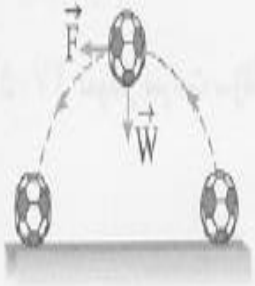
$$\text{نیروی خالص} = \vec{F}_{net} = \text{نیروی مقاومت هوا} + \text{وزن} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ = (-۱/۰\text{N})\,\vec{i} + (-۴/۱۰\text{N})\,\vec{j}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} = \frac{(-۱/۰\text{N})\,\vec{i} + (-۴/۱۰\text{N})\,\vec{j}}{۴۲۰\times۱۰^{-۳}\text{kg}} = (-۲/۴\,\text{N/kg})\,\vec{i} + (-۹/۸\,\text{N/kg})\,\vec{j}$$

$$a = \sqrt{a_x^۲ + a_y^۲} = \sqrt{(-۲/۴\,\text{N/kg})^۲ + (-۹/۸\,\text{N/kg})^۲} = ۱۰\,\text{N/kg} = ۱۰\,\text{m/s}^۲$$

تست ۲)

شکل مقابل، نیروهای وارد بر توپ فوتبالی را در بالاترین نقطهٔ مسیرش، نشان می‌دهد. جهت شتاب توپ در کدام شکل درست رسم شده است؟



۱) ↙
۲) ←
۳) ↓
۴) ↑

تست ۳)

. مطابق شکل سه نیرو بر جسمی به جرم 5kg اثر می‌کنند. شتاب حرکت جسم چند متر بر مربع ثانیه است؟

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

تست ۴)

. سه نیرو که اندازهٔ هر یک ۴۰ نیوتون است با هم بر یک جسم ۲۰ کیلوگرمی و ساکن اثر می‌کنند و متوازن هستند. اگر یکی از نیروها حذف شود، پس از ۳ ثانیه سرعت جسم چند m/s خواهد شد؟

۱) ۱۲ ۲) ۶ ۳) ۳ ۴) ۱/۵

تست۵)

۲۱. خودرویی به جرم ۲ تن با سرعت ۷۲km/h روی سطح افقی در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. این خودرو در اثر ترمز با شتاب ثابت در مدت ۸ ثانیه متوقف می‌شود. اندازهٔ نیروی ترمز چند نیوتون است؟ (kg)

۱) ۵۰۰۰ ۲) ۲۵۰۰ ۳) ۱۰۰۰۰ ۴) ۷۵۰۰۰

تست ۶)

دو نیروی $\vec{F}_1 = -۱۰\vec{i} + ۱۵\vec{j}$ و $\vec{F}_2$ بر ذره‌ای وارد می‌شوند و این ذره با سرعت ثابت $\vec{v} = \vec{i} + \vec{j}$ حرکت می‌کند. در این حالت اندازهٔ نیروی $\vec{F}_2$ کدام است؟

۱) ۱۰ ۲) $۳\sqrt{۱۰}$ ۳) $۱۰\sqrt{۳/۲۵}$ ۴) $۱۰\sqrt{۵/۲۵}$

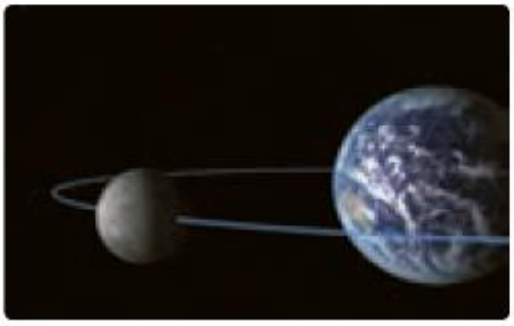
۲ـ۲ معرفی برخی از نیروهای خاص

بنا به قانون دوم نیوتون ($\vec{F}_{net} = m\,\vec{a}$) برای بررسی حرکت یک جسم باید نیروهای وارد بر آن جسم را تعیین کنیم. به همین دلیل لازم است با انواع نیروها آشنا شویم. در این بخش تعدادی از نیروهایی را که با آنها بیشتر سروکار داریم، معرفی می‌کنیم.

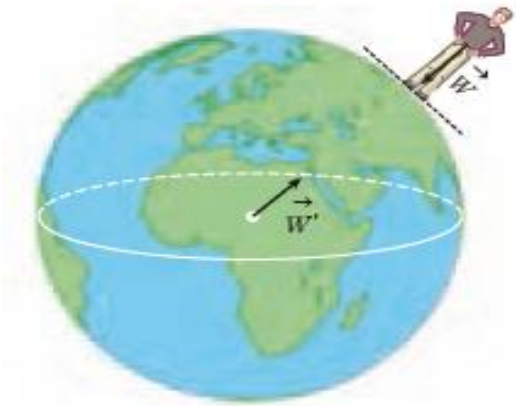
۱)نیروی گرانش و وزن

وقتی سیبی از یک درخت جدا می‌شود، چه نیرویی سبب سقوط آن به طرف زمین می‌شود؟ وقتی شیر آب را باز می‌کنیم، چه نیرویی سبب می‌شود آب به طرف زمین شارش کند؟ چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کنیم پس از مدتی به پایین می‌افتد؟

منشأ نیروی مرکزگرایی که سبب چرخش ماه به‌دور زمین می‌شود چیست؟ زمین به همراه هفت سیارهٔ دیگر نیز به دور خورشید می‌چرخند؛ منشأ نیروی مرکزگرای وارد بر زمین و سیارات دیگر چیست؟



شکل ۲ـ ۲۴ اگر بر ماه نیرویی وارد نشود ماه باید به‌طور مستقیم حرکت کند نه به صورت دایره‌ای



شکل ۲ـ۶ زمین بر جسم نیروی گرانشی ($\vec{W}$) وارد می‌کند و جسم نیز بر زمین نیروی گرانشی ($\vec{W}'$) وارد می‌کند.

تا سال ۱۶۸۷ داده‌های زیادی در مورد حرکت ماه و سیارات گردآوری شده بود، اما کسی شناخت روشنی از نیروهای مؤثر بر آنها نداشت. در آن سال ایزاک نیوتون، دانشمند انگلیسی، با انتشار کتاب اصول خود راز این معما را بیان کرد. از قانون‌های نیوتون می‌دانیم که باید نیروی خالصی بر ماه وارد شود. اگر چنین نبود، ماه به جای مدار تقریباً دایره‌ای به گرد زمین، باید روی خط راست حرکت می‌کرد. نیوتون استدلال کرد که این نیرو ناشی از نیروی جاذبهٔ بین ماه و زمین است و گفت این نیرو همان نیرویی است که اجسام نزدیک به سطح زمین ــ مانند سیب ــ را جذب می‌کند. نیوتون نشان داد هر جسمی در عالم، اجسام دیگری را به‌خود جذب می‌کند و این الهام‌بخش او برای قانون گرانش عمومی بوده است که بیان می‌دارد :

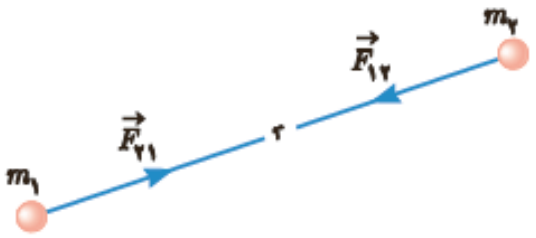
نیروی گرانشی میان دو ذره[۱] با حاصل‌ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد.

اگر مطابق شکل ۲ــ۲۵، جرم دو ذره m_1 و m_2 و فاصلهٔ آنها از یکدیگر r باشد، اندازهٔ نیروی گرانشی میان دو ذره یعنی F از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad \text{(اندازهٔ نیروی گرانشی بین دو ذره)} \qquad (۲ــ۱۵)$$

در این رابطه، G ثابت گرانش عمومی نام دارد و برابر است با :

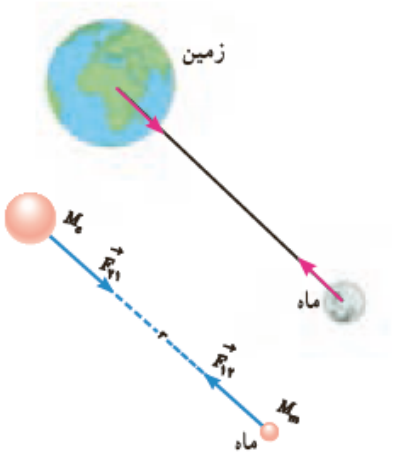
$$G = 6/67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$$



شکل ۲ــ۲۵ نیروی گرانشی بین دو ذره جاذبه است و در امتداد خط واصل دو ذره وارد می‌شود. طبق قانون سوم نیوتون این دو یک جفت نیروی کنش ــ واکنش را تشکیل می‌دهند که :

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

مثال ۲ــ۱۸



جرم زمین و ماه به‌ترتیب حدود $5/98 \times 10^{24}\ kg$ و $7/36 \times 10^{22}\ kg$ و فاصلهٔ متوسط آنها از یکدیگر حدود $3/84 \times 10^{8}\ m$ است. نیروی گرانشی را که زمین و ماه به یکدیگر وارد می‌کنند پیدا کنید.

پاسخ : فاصلهٔ دو کره در این مثال خیلی بزرگ‌تر از قطر کره‌هاست. بنابراین می‌توان کره‌ها را ذره فرض کرد.

به کمک رابطهٔ ۲ــ۱۵، نیروی گرانشی را که زمین و ماه بر هم وارد می‌کنند محاسبه می‌کنیم :

$$F_{12} = F_{21} = G\frac{M_e M_m}{r^2} = (6/67\times10^{-11}\,N.m^2/kg^2)\frac{(5/98\times10^{24}kg)(7/36\times10^{22}kg)}{(3/84\times10^{8}m)^2} = 1/99\times10^{20}N$$

این نیرو سبب چرخش ماه به دور زمین می‌شود.

مثال ۲ــ۱۹

دو کرهٔ همگن به جرم‌های $80/0\ kg$ و $120/0\ kg$ را درنظر بگیرید که فاصلهٔ مرکز آنها از یکدیگر $1/00\ m$ است. نیروی گرانشی را که این دو کره بر یکدیگر وارد می‌کنند محاسبه کنید.

پاسخ : برای محاسبهٔ نیرویی که دو کرهٔ همگن به‌هم وارد می‌کنند می‌توانیم فرض کنیم همهٔ جرم‌های دو کره در مرکز آنها قرار دارد، بنابراین کره‌ها را به‌صورت ذراتی در نظر می‌گیریم که همان جرم کره‌ها را داشته باشند. به کمک رابطهٔ ۲ــ۱۵، نیروی گرانشی را که دو کره به یکدیگر وارد می‌کنند محاسبه می‌کنیم :

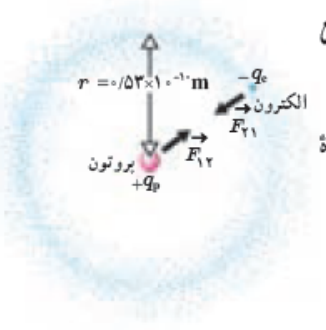
$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = (6/67\times10^{-11}\,N.m^2/kg^2)\frac{(80/0kg)(120/0kg)}{(1/00m)^2} = 6/40\times10^{-7}N$$

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

سوال : نیروی گرانشی را با نیروی الکتریکی مقایسه کنید.

چرا برای محاسبه حرکت سیارات فقط نیروهای گرانشی را در نظر می گیرند؟

مثال ۱ــ ۲



الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\ \mathrm{m}$ است (شکل را ببینید). اندازهٔ نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید.

ب) در هستهٔ اتم هلیم دو پروتون به فاصلهٔ تقریبی $r=۲/۴\times۱۰^{-۱۵}\ \mathrm{m}$ از هم قرار دارند. اندازهٔ نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

پاسخ :

الف) با استفاده از قانون کولن برای بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذرّهٔ باردار داریم :

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲} = k\frac{|q_e||q_p|}{r^۲} = (۹/۰\times۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^۲/C^۲})\frac{(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C})^۲}{(۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\ \mathrm{m})^۲} = ۸/۲\times۱۰^{-۸}\ \mathrm{N}$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم :

$$F = k\frac{|q_p||q_p|}{r^۲} = (۹/۰\times۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^۲/C^۲})\frac{(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C})^۲}{(۲/۴\times۱۰^{-۱۵}\ \mathrm{m})^۲} = ۴۰\ \mathrm{N}$$

که این به مراتب بزرگ‌تر از نیروی محاسبه‌شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بپاشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

نکته : در طبیعت فقط چهار نیروی زیر وجود دارد:

۱) نیروی گرانشی

۲) نیروی الکتریکی

۳) نیروی هسته ای قوی

۴) نیروی هسته ای ضعیف

دانشمندان در حال پژوهش هستند که ثابت کنند این چهار نیرو دارای ماهیت یکسانی هستند . عبدالسلام دانشمند پاکستانی به همراه دو دانشمند دیگر نشان دادند که دو نیروی هسته ای ضعیف و الکتریکی ماهیتی یکسان دارند.

وزن : همان‌طور که در علوم هفتم خواندیم وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود (شکل ۲ــ۶). وقتی جسمی را در نزدیکی سطح زمین رها می‌کنیم، وزن آن سبب می‌شود تا جسم به طرف زمین شتاب پیدا کند. اگر از نیروی مقاومت هوا در مقابل حرکت چشم‌پوشی شود، طبق قانون دوم نیوتون می‌توانیم بنویسیم :

شتاب × جرم جسم = وزن جسم

اگر جرم جسم را با m، شتاب گرانشی را با $\vec{g}$ و وزن را با $\vec{W}$ نشان دهیم، رابطهٔ بالا به شکل زیر درمی‌آید :

$$\vec{W} = m\,\vec{g} \qquad \text{(وزن جسم)} \qquad (۲ــ۳)$$

توجه داریم که جهت وزن و در نتیجه شتاب گرانشی همواره به طرف زمین (مرکز زمین) است. جرم یک جسم در مکان‌های مختلف ثابت است، اما وزن آن طبق رابطهٔ ۲ــ۳ به مقدار $\vec{g}$ در آن مکان بستگی دارد. مثلاً اگر جرم شخصی $60/0\ \text{kg}$ باشد، در محلی که $g = 9/80\ \text{N/kg}$ است، وزن آن ۵۸۸N و در بالونی که در ارتفاع زیاد حرکت می‌کند و در آن ارتفاع $g = 9/76\ \text{N/kg}$ است تقریباً ۵۸۶N است. شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً ۹/۸N/kg است.

تمرین ۲ــ۱

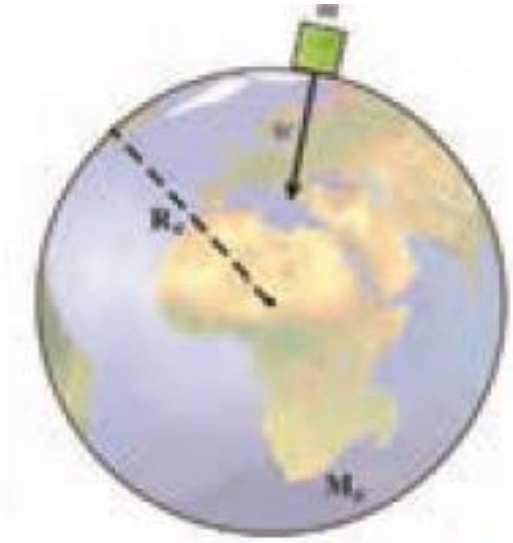
الف) وزن قطعه‌ای طلا به جرم ۱۰۰ گرم را روی سطح زمین به‌دست آورید.

ب) وزن یک جسم در سطح یک سیاره برابر با نیروی گرانشی است که از طرف آن سیاره بر جسم وارد می‌شود. وزن این قطعه طلا را در سطح ماه و مریخ به‌دست آورید و با هم مقایسه کنید. ($g_{\text{زمین}} = 9/8\text{N/kg}$, $g_{\text{ماه}} = 1/6\text{N/kg}$, $g_{\text{مریخ}} = 3/7\text{N/kg}$)

توجه کنید، حتی اگر جسم در حال سقوط آزاد نباشد باز هم نیروی وزن ($\vec{W}$) بر آن وارد می‌شود. مثلاً بر یک چترباز قبل از پرش، در حال سقوط و حتی هنگام رسیدن به زمین، نیروی وزن وارد شده و از رابطهٔ ۲ــ۳ به‌دست می‌آید.

وزن و نیروی گرانشی : در بخش ۲ـ۲، در مورد وزن یک جسم مطالبی را آموختیم. در آنجا گفتیم وزن یک جسم روی زمین برابر با نیروی گرانشی است که زمین بر جسم وارد می‌کند (شکل ۲ـ۲۶). اگر جرم جسم را با m، جرم زمین را با M_e و شعاع زمین را با R_e نمایش دهیم، وزن جسم روی سطح زمین از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$W = G\frac{M_e m}{R_e^2} \qquad \text{(وزن جسم در سطح زمین)} \qquad (۱۶ـ۲)$$



شکل ۲ـ۲۶ وزن نیروی گرانشی است که زمین بر جسم وارد می‌کند.

تمرین ۲ـ۱۲

نشان دهید شتاب گرانشی روی زمین برابر است با : $g = G\frac{M_e}{R_e^2}$

فرض کنید مقدار شتاب گرانش روی سطح زمین $\frac{۱}{۳}$ برابر شود. در مقایسه با وضعیت کنونی کدام عبارت زیر نادرست است؟

۱) اگر جسمی از ارتفاع h بالای سطح زمین رها شود، دیرتر به زمین می‌رسد.

۲) وزن جسم روی سطح زمین کاهش می‌یابد.

۳) اگر جسم را روی یک کفهٔ ترازو قرار دهیم، در کفهٔ دیگر باید وزنه‌های بیش‌تری قرار دهیم.

۴) اگر جسمی را از سطح زمین رو به بالا پرتاب کنیم، تا لحظهٔ توقف مسافت بیش‌تری می‌پیماید.

کدام‌یک از عبارت‌های زیر درست است؟

۱) وزن جسم همواره مقدار ثابتی است.

۲) با کندن چاهی، جسمی را به درون آن می‌بریم در این صورت وزن جسم افزایش می‌یابد.

۳) وزن جسم درون ماهواره از وزن جسم در سطح زمین کم‌تر است.

۴) اگر جسمی در خلأ قرار بگیرد، وزن آن صفر می‌شود.

جسمی را از پایین کوه تا قلهٔ آن بالا می‌بریم. در این صورت جرم آن ..... و وزن آن .....

۱) ثابت می‌ماند ـ ثابت می‌ماند.

۲) ثابت می‌ماند ـ کاهش می‌یابد.

۳) کاهش می‌یابد ـ کاهش می‌یابد.

۴) کاهش می‌یابد ـ ثابت می‌ماند.

نیروی یک نیوتونی به جسمی به وزن یک نیوتون چه شتابی بر حسب متر بر مربع ثانیه می‌دهد؟ $(g = 9/8 N/kg)$

۱) $\frac{1}{9/8}$ ۲) ۱ ۳) ۴/۸ ۴) ۹/۸

وزن جسمی در سطح کرهٔ ماه برابر ۵۸/۸ نیوتون است. این جسم را در سطح افقی روی زمین قرار می‌دهیم و نیروی $\vec{F} = 36\vec{i}$ در SI را بر آن وارد می‌کنیم. تندی متوسط جسم پس از ۱۰ ثانیه، چند متر بر ثانیه است؟ $(g = 9/8 m/s^2$ و $g_{ماه} = \frac{1}{6} g_{زمین})$

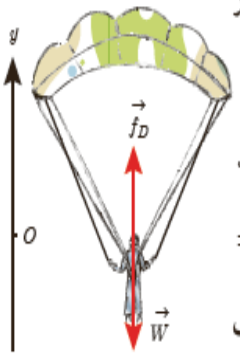
۱) ۰/۵ ۲) ۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۲/۵

۲) **نیروی مقاومت شاره** : وقتی جسمی مانند یک توپ را از بالای ساختمانی رها می‌کنیم، علاوه‌بر وزن جسم، نیروی دیگری از طرف هوا به جسم در خلاف جهت حرکت وارد می‌شود. به‌طور کلی وقتی جسمی در یک شاره (مایع یا گاز) قرار دارد و نسبت به آن حرکت می‌کند از طرف شاره نیرویی در خلاف جهت حرکت جسم، به آن وارد می‌شود که به آن **نیروی مقاومت شاره** می‌گویند[۱] و معمولاً آن را با $\vec{f}_D$ نشان می‌دهند[۲]. نیروی مقاومت شاره به بزرگی جسم، تندی آن و . . . بستگی دارد. هرچه تندی جسم بیشتر باشد، نیروی مقاومت شاره بیشتر خواهد شد. همان‌طور که می‌دانیم اگر جسم در هوا حرکت کند، به این نیرو، **نیروی مقاومت هوا** می‌گویند.

مثال ۲ـ۴

چتربازی به جرم ۶۰/۰kg مدتی پس از یک پرش آزاد، چترش را باز می‌کند. ناگهان نیروی مقاومت هوا به ۱۱۴۰N افزایش می‌یابد. شتاب چترباز را در این لحظه به‌دست آورید و حرکت آن را تحلیل کنید. برای سادگی g را ۱۰N/kg فرض کنید.

پاسخ : با توجه به شکل، نیروی وزن به طرف پایین و مقاومت هوا به طرف بالا است. اگر محور مختصات را رو به بالا انتخاب کنیم، برای محاسبهٔ شتاب چترباز در این حالت می‌توانیم بنویسیم :



$$f_D - W = ma \Rightarrow (1140\text{N}) - (60/0\text{kg})(10\frac{\text{N}}{\text{kg}}) = (60/0\text{kg})a$$

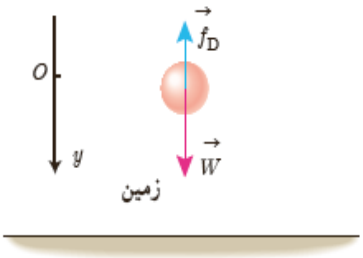
$$\Rightarrow a = \frac{540\text{N}}{60/0\text{kg}} = 9/0\text{m/s}^2$$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید شتاب چترباز در این حالت ۹/۰m/s^2 و رو به بالا، یعنی در خلاف جهت حرکت آن است. پس به‌تدریج تندی چترباز کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه نیروی مقاومت هوا نیز کم می‌شود تا اینکه نیروی مقاومت هوا و وزن هم‌اندازه شده و نیروهای وارد بر چترباز متوازن شوند. پس از این چترباز با تندی ثابتی موسوم به **تندی حدی**، به طرف پایین حرکت می‌کند. تندی حدی برای یک چترباز نوعی حدود ۵/۰m/s و برای قطرات باران حدود ۷/۰m/s است.

مثال ۲ــ۵

دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است ($m_۲ = ۲m_۱$) از بالای برجی به ارتفاع h به‌طور هم‌زمان رها می‌کنیم. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی ثابت و یکسان باشد، تندی برخورد کدام گوی با زمین بیشتر است؟

پاسخ : بر این گوی‌ها، دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. طبق قانون دوم نیوتون، نیروی خالص وارد بر گوی برابر با حاصل‌ضرب جرم در شتاب است. نیروی مقاومت هوا را با f_D و وزن را با W نشان می‌دهیم و برای بررسی ساده‌تر حرکت گوی‌ها، جهت مثبت محور y را به‌طرف پایین انتخاب می‌کنیم :



$$W - f_D = ma \Rightarrow a = \frac{W - f_D}{m} = \frac{mg - f_D}{m} = g - \frac{f_D}{m}$$

یعنی با درنظرگرفتن مقاومت هوا، هر چه m بیشتر باشد، شتاب حرکت بیشتر است.

در نتیجه $a_۲ > a_۱$ است.

طبق رابطهٔ سرعت ــ جابه‌جایی می‌توانیم بنویسیم :

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a\Delta y \Rightarrow v^۲ - ۰ = ۲ah \Rightarrow v = \sqrt{۲ah} \Rightarrow v_۲ > v_۱$$

یعنی در این مثال تندی برخورد گوی سنگین‌تر، بیشتر از گوی سبک‌تر است.

تمرین ۲ــ۲

اگر در مثال ۲ــ۵ از مقاومت هوا صرف‌نظر کنیم، سرعت برخورد گوی‌ها با زمین را با هم مقایسه کنید.

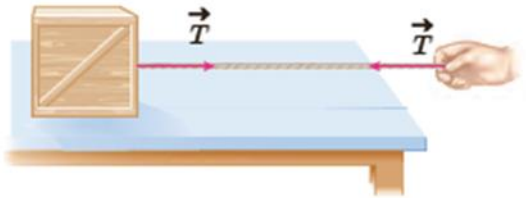
. جسمی به جرم ۲۰ کیلوگرم از ارتفاع مشخصی بالای سطح زمین رها می‌شود. در لحظه‌ای که تندی حرکت جسم به تندی حدی می‌رسد، نیروی مقاومت هوا چند نیوتون است؟ $(g = 9/8 m/s^2)$

۱) ۲۰۰ ۲) ۳۹۶ ۳) ۱۹۶ ۴) ۱۹۸

. جسمی به جرم m با سرعت ثابت در راستای قائم بالا برده می‌شود. اگر نیروی مقاومت هوا نصف نیروی وزن جسم و ثابت باشد، در صورت رها شدن جسم شتاب حرکت آن چند متر بر مربع ثانیه خواهد شد؟

۱) $\frac{g}{2}$ ۲) g ۳) $\frac{g}{4}$ ۴) صفر

۳) **نیروی کشش طناب** : وقتی طناب (کابل، ریسمان و...) متصل به جسمی را مانند شکل ۲ـ۱۷ می‌کشیم، طناب جسم را با نیرویی می‌کشد که جهت آن از جسم به سمت بیرون و در راستای طناب است. چون در این حالت طناب تحت کشش قرار دارد، به این نیرو، نیروی کشش طناب گفته می‌شود و آن را با $\vec{T}$ نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل می‌بینید طناب دست را نیز با نیروی $\vec{T}$ می‌کشد. بزرگی نیروی کشش طناب برابر با بزرگی نیروی $\vec{T}$ وارد بر جسم است. مثلاً اگر بزرگی نیروی وارد بر جسم از طرف طناب ۶۰N باشد، کشش طناب نیز ۶۰N است ($T=۶۰N$). در این کتاب از جرم طناب و همچنین از کش آمدن آن صرف نظر می‌شود. بنابراین طناب فقط به‌عنوان رابط بین دو جسم عمل می‌کند و هر دو جسم (دست و جعبه) را با بزرگی نیروی یکسان T می‌کشد، حتی اگر این دو جسم و طناب شتاب‌دار باشند.



شکل ۲ـ۱۷ طناب جسم را با نیروی کشش $\vec{T}$ می‌کشد.

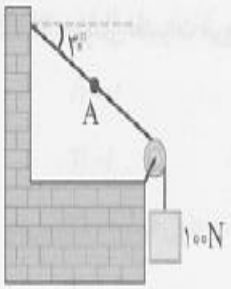
بیش‌ترین مقدار نیروی قابل تحمل برای طنابی ۱۵۰ نیوتون است. اگر با دو نیروی ۱۰۰ نیوتونی دو طرف طناب را بکشیم چه اتفاقی می‌افتد؟

۱) طناب پاره می‌شود، چون نیروی کشش آن ۲۰۰ نیوتون است.

۲) طناب پاره نمی‌شود، چون نیروی کشش آن صفر است.

۳) طناب پاره نمی‌شود، چون نیروی کشش آن ۱۰۰ نیوتون است.

۴) طناب پاره می‌شود، چون نیروی کشش آن ۳۰۰ نیوتون است.



. دستگاه مقابل در حال تعادل است. نیروی کشش نخ در نقطهٔ A چند نیوتون است؟ (جرم نخ و اصطکاک ناچیز است.)

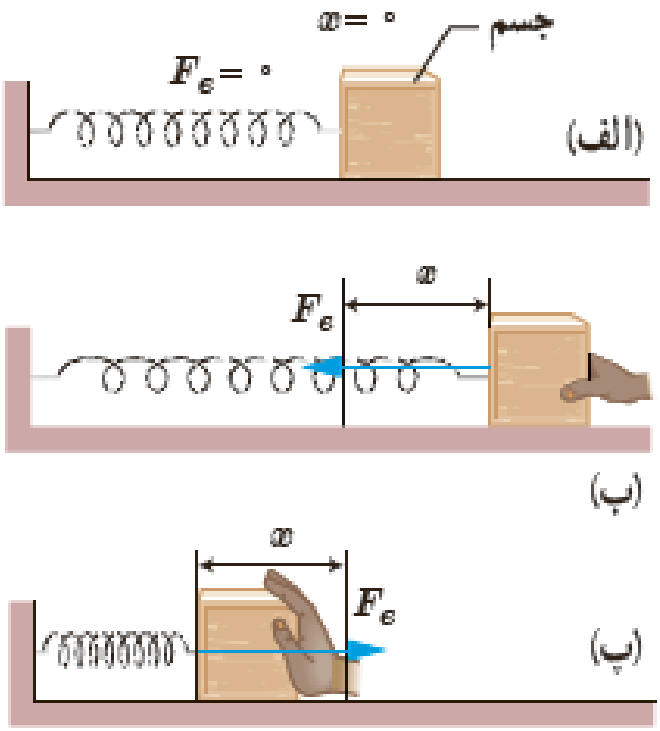
(سراسری ریاضی خارج از کشور- ۸۸)

۱) ۵۰
۲) ۱۰۰
۳) ۱۵۰
۴) ۲۰۰

. طنابی با جرم ناچیز در اثر نیروی کشش بیش‌تر از ۴۰ نیوتون پاره می‌شود. به این طناب وزنهٔ دو کیلوگرمی آویزان کرده و در راستای قائم آن را به حرکت درمی‌آوریم. بیش‌ترین مقدار شتاب حرکت چند m/s^2 باشد تا طناب پاره نشود؟ $(g = 10N/kg)$

۱) ۲۰
۲) ۵
۳) ۱۵
۴) ۱۰

۴) **نیروی کشسانی فنر** : همان‌طور که در فیزیک ۱ دیدیم فنرها اجزای مهمی در فناوری هستند و به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند (شکل ۲ــ ۱۴). همچنین با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا شدیم و می‌دانیم که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنیم و سر دیگر آن را بکشیم، طول فنر افزایش می‌یابد. شکل ۲ــ ۱۵ الف، فنری را با طول عادی نشان می‌دهد که در آن، فنر نه فشرده و نه کشیده شده است. اگر فنر را به اندازهٔ x بکشیم یا فشرده کنیم (شکل ۲ــ۱۵ ب و پ)، فنر نیرویی به طرف نقطهٔ تعادل به جسم وارد می‌کند. تجربه نشان می‌دهد هر چه فنر را بیشتر بکشیم یا فشرده کنیم (در محدودهٔ معینی از تغییر طول فنر)، نیروی کشسانی فنر نیز بیشتر می‌شود.

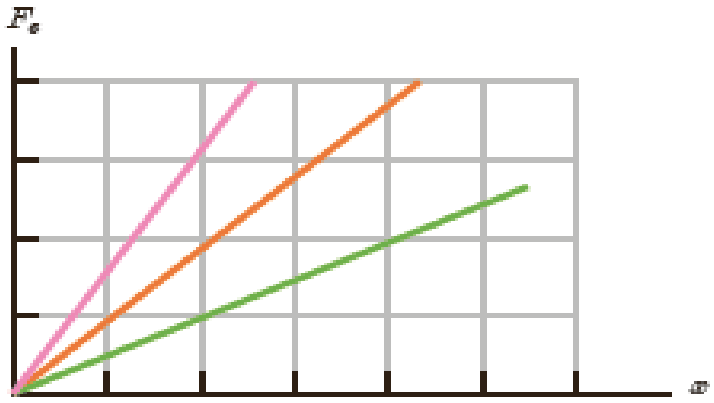


شکل ۲ ــ ۱۵ الف) فنر طول عادی دارد و جسم در نقطهٔ تعادل است، ب) فنر کشیده شده است و نیروی کشسانی رو به نقطهٔ تعادل به جسم وارد می‌کند، و پ) فنر فشرده شده است، و نیروی کشسانی رو به نقطهٔ تعادل به جسم وارد می‌کند.

برای بیشتر فنرها با تقریب قابل قبولی، نیروی کشسانی فنر با اندازهٔ تغییر طول آن (x) رابطهٔ مستقیم دارد :

$$F_e = kx \qquad \text{(نیروی کشسانی فنر[1])} \qquad (۲_۷)$$

ضریب k در رابطهٔ ۲ــ۷، ثابت فنر نام دارد. ثابت فنر از مشخصات فنر است و به اندازه، شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد. در رابطهٔ ۲ــ۷ نیرو بر حسب نیوتون(N)، x بر حسب متر (m) و k بر حسب نیوتون بر متر (N/m) است. معادلهٔ ۲ــ۷ را به افتخار رابرت هوک، دانشمند انگلیسی (۱۷۰۳ــ۱۶۳۵م.) که این رابطه را کشف کرد، **قانون هوک** می‌نامند. برای یک فنر انعطاف‌پذیر، k عددی کوچک (حدود ۱۰۰ N/m) و برای یک فنر سفت k عددی بزرگ (حدود ۱۰۰۰۰ N/m) است. نمودار نیروی کشسانی بر حسب تغییر طول برای سه فنر با kهای متفاوت در شکل ۲ــ۱۶ رسم شده است.



شکل ۲ ــ ۱۶ هرچه ثابت فنر بیشتر باشد، شیب نمودار بیشتر و فنر سخت‌تر است.

فعالیت ۲ــ۴

تعدادی فنر متفاوت تهیه کنید. الف) سختی آنها را مقایسه کنید. ب) با طراحی یک آزمایش، ثابت هر فنر را به‌دست آورید.

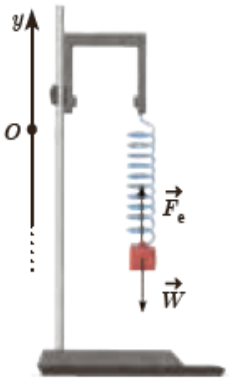
مثال ۲ــ۸

فنری به طول $L_0=10/0\,cm$ را از یک نقطه آویزان می‌کنیم و به سر دیگر آن وزنهٔ ۲۰۰ گرمی وصل می‌کنیم. پس از رسیدن به تعادل، طول فنر به $L=12/0\,cm$ می‌رسد.

الف) ثابت فنر چند نیوتون بر متر است؟

ب) اگر وزنه‌ای ۳۰۰ گرمی را به فنر وصل کنیم، پس از رسیدن به تعادل طول فنر چند سانتی‌متر می‌شود؟

پاسخ : الف) محور مختصات را همانند شکل انتخاب می‌کنیم و نیروهای وارد بر جسم را رسم و با استفاده از قانون دوم نیوتون مسئله را حل می‌کنیم.



$$F_e - W = ma \Rightarrow F_e - W = 0 \quad و \quad F_e = kx \Rightarrow kx = mg$$

$$k(12/0\times10^{-2}\,m - 10/0\times10^{-2}\,m) = (200\times10^{-3}\,kg)(9/8\,N/kg)$$

$$k = 98\,N/m$$

ب)

$$kx = mg \Rightarrow (98\,N/m)x = (300\times10^{-3}\,kg)(9/8\,N/kg) \Rightarrow$$

$$x = 0/030\,m = 3/0\,cm$$

$$x = L - L_0 \Rightarrow 3/0\,cm = L - 10/0\,cm \Rightarrow L = 13/0\,cm$$

کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد فنر درست نیست؟

۱) ثابت فنر به اندازهٔ فنر بستگی دارد.

۲) اگر تغییر طول فنر دو برابر شود، ثابت فنر دو برابر می‌شود.

۳) ثابت فنر به شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد.

۴) نیروی فنر همواره نیرویی در خلاف جهت جابه‌جایی فنر است.

فنری را یک بار با دو نیروی هم‌اندازهٔ F از دو طرف می‌کشیم. بار دیگر فنر را به طور افقی به یک دیوار بسته و ابتدای آن را با نیروی F می‌کشیم. تغییر طول فنر در حالت اول در مقایسه با حالت دوم چگونه است؟

۱) بیش‌تر ۲) کم‌تر ۳) برابر ۴) نمی‌توان تعیین کرد.

۲. فنری به طول ۱۵ سانتی‌متر با ثابت $200\,N/m$ را از دو طرف با نیروهای یکسان ۱۰ نیوتون در خلاف جهت هم می‌کشیم. طول فنر چند سانتی‌متر می‌شود؟

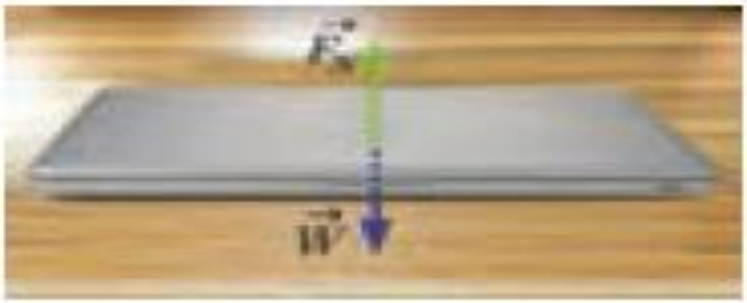
۱) ۵ ۲) ۲۵ ۳) ۳۰ ۴) ۲۰

۵) **نیروی عمودی سطح** : مطابق شکل ۲ـ۷، لپ‌تابی را روی سطح افقی میزی در نظر بگیرید. بر لپ‌تاپ ساکن روی میز افقی چه نیروهایی وارد می‌شود؟ با توجه به اینکه نیروی وزن بر لپ‌تاپ وارد می‌شود، چه نیرویی سبب خنثی شدن آن و سکون جسم می‌شود؟

همان‌طور که می‌دانیم نیروهای وارد بر جسم ساکن، متوازن‌اند، بنابراین در این حالت باید یک نیروی هم‌اندازه و در خلاف جهت وزن از طرف میز (سطح) بر لپ‌تاپ وارد شده باشد تا نیروی وزن را خنثی کند. به این نیرو که عمود بر سطح تماس است، **نیروی عمودی سطح** (تکیه‌گاه) می‌گویند و آن را با $\vec{F}_N$ نشان می‌دهند.

$$\vec{F}_{net} = 0 \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{W} = 0 \rightarrow \vec{F}_N = -\vec{W} \Rightarrow F_N = W$$

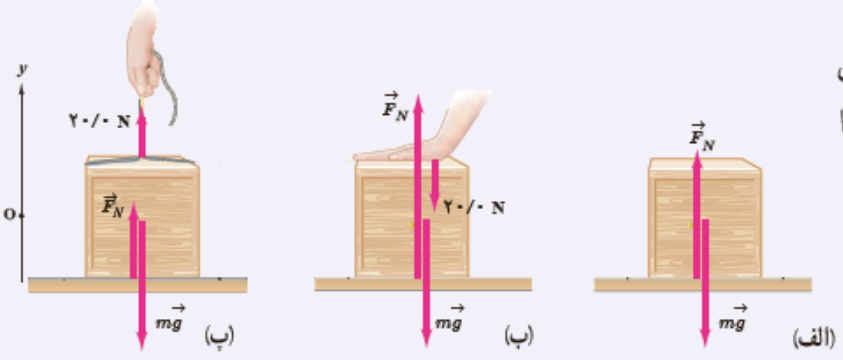
نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است. اگر جسمی سنگین را روی یک سطح اسفنجی یا یک تشک قرار دهیم تغییر شکل اسفنج یا تشک به‌خوبی دیده می‌شود. حتی یک زمین به‌ظاهر سفت و سخت نیز وقتی جسمی روی آن قرار می‌گیرد، تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل مربوط به نیروهای بین مولکولی است که در فیزیک ۱ با آن آشنا شدید.



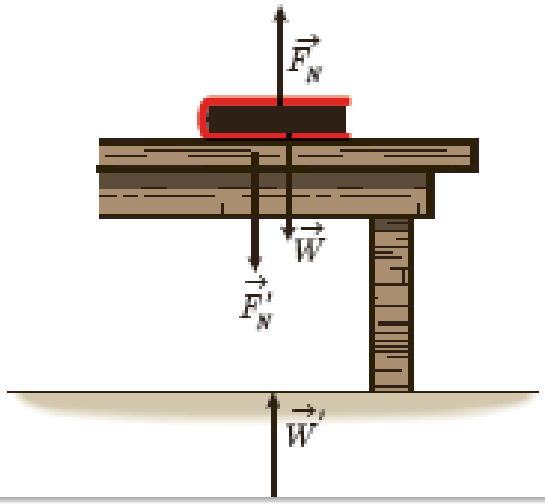
شکل ۲ـ۷ نیروهای وارد بر لپ‌تاپ متوازن‌اند.

تمرین ۲ـ۳

همانند شکل، جعبه‌ای به جرم ۴/۰kg روی میزی افقی قرار دارد. نیروی عمودی سطح را در حالت‌های نشان داده شده به‌دست آورید.

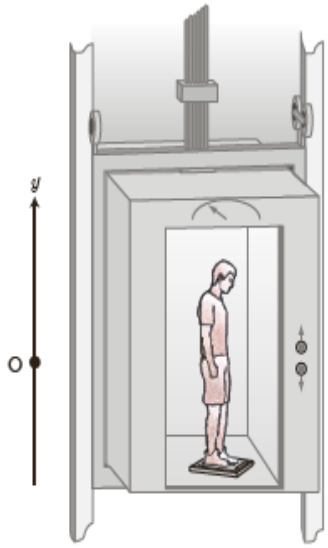


نیروی عمودی تکیه‌گاه از طرف سطح به جسمی که روی آن قرار دارد وارد می‌شود، بنابراین واکنش این نیرو $\vec{F'_N}$ به‌صورت عمودی و در خلاف جهت $\vec{F_N}$ از طرف جسم به سطح وارد می‌شود (شکل ۲ــ۸). همچنین واکنش نیروی وزن $(\vec{W'})$ نیرویی است که از طرف جسم به زمین و در خلاف جهت $\vec{W}$ وارد می‌شود.



شکل ۲ــ۸ بر جسم نیروی عمودی سطح $(\vec{F_N})$ و وزن $(\vec{W})$ وارد می‌شود.

مثال ۲ــ۶



شخصی درون آسانسوری ساکن، روی یک ترازوی فنری ایستاده است. در این حالت ترازو عدد ۵۸۸N را نشان می‌دهد. الف) جرم شخص چند کیلوگرم است؟ ب) وقتی آسانسور شتاب رو به بالای $۲/۰۰ m/s^۲$ دارد، ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ پ) وقتی آسانسور شتاب رو به پایین $۲/۰۰ m/s^۲$ دارد ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ ت) اگر کابل آسانسور پاره شود و آسانسور سقوط آزاد کند، ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ $(g = ۹/۸۰ N/kg)$

پاسخ: بر شخص نیروی وزن به طرف پایین و نیروی عمودی سطح به طرف بالا وارد می‌شود. جهت مثبت محور y را رو به بالا انتخاب می‌کنیم و از قانون دوم نیوتون برای پاسخ به قسمت‌های مختلف استفاده می‌کنیم.

الف) در حالتی که آسانسور ساکن است می‌توانیم بنویسیم:

$$F_N - W = ma = ۰ \Rightarrow F_N = W = mg$$

توجه داریم نیروسنج نیروی وارد بر خودش یعنی F'_N که واکنش F_N است را نشان می‌دهد. پس نیروسنج اندازهٔ F_N را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد.

$$F'_N = ۵۸۸ N \Rightarrow F_N = F'_N = ۵۸۸ N \,,\, F_N = W = mg \Rightarrow ۵۸۸ N = m\,(۹/۸۰ N/kg) \Rightarrow m = ۶۰/۰ kg$$

ب)

$$F_N - W = ma \rightarrow F_N = mg + ma = (۶۰/۰\text{kg})(۹/۸۰\ \text{N/kg}) + (۶۰/۰\text{kg})(۲/۰۰\text{N/kg})$$

$$F_N = ۷۰۸\text{N}$$

یعنی در این حالت، ترازو عددی بزرگ‌تر از اندازهٔ وزن را نشان می‌دهد.

پ)

$$F_N - W = ma \Rightarrow F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = mg + ma = m(g+a)$$

جهت شتاب رو به پایین است.

$$F_N = (۶۰/۰\text{kg})(۹/۸۰\frac{\text{N}}{\text{kg}} - ۲/۰۰\frac{\text{N}}{\text{kg}}) = ۴۶۸\text{N}$$

یعنی در این حالت ترازو، عددی کوچک‌تر از اندازهٔ وزن را نشان می‌دهد.

ت) وقتی کابل آسانسور پاره شود، آسانسور سقوط آزاد می‌کند و شتاب آن برابر g و رو به پایین است.

$$F_N - W = ma \rightarrow F_N = mg + ma = m(g-g) = ۰$$

یعنی در سقوط آزاد، نیروی عمودی سطح صفر است. به عبارت دیگر ترازو عدد صفر را نشان می‌دهد.

پرسش ۲ـ۶

در مثال ۲ـ۶، در هر یک از حالت‌های زیر، عددی را که ترازوی فنری نشان می‌دهد با وزن شخص مقایسه کنید.

الف) آسانسور به طرف بالا شروع به حرکت کند.

ب) آسانسور به طرف پایین شروع به حرکت کند.

پ) آسانسور در حالی که به طرف بالا حرکت می‌کند، متوقف شود.

ت) آسانسور در حالی که به طرف پایین حرکت می‌کند، متوقف شود.

(kg)

. آسانسوری به طرف بالا در حال حرکت است. شخصی که درون آسانسور ایستاده است چه نیرویی بر کف آن وارد می‌کند؟

۱) برابر وزنش ۲) کم‌تر از وزنش ۳) بیش‌تر از وزنش ۴) هر سه مورد ممکن است.

. شخصی روی یک نیروسنج درون آسانسوری قرار دارد. اگر در یک لحظه کابل آسانسور پاره شود، نیروسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

۱) عددی بیش‌تر از وزن جسم ۲) عددی کم‌تر از وزن جسم

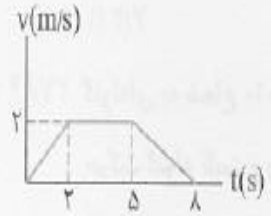
۳) صفر ۴) هر سه حالت ممکن است.

. شخصی در داخل آسانسوری روی یک نیروسنج ایستاده است. قبل از حرکت آسانسور، نیروسنج ۷۰۰ نیوتون و پس از حرکت ۷۴۰ نیوتون را نشان می‌دهد. در این صورت کدام بیان دربارهٔ حرکت آسانسور درست است؟

۱) با سرعت ثابت بالا می‌رود. ۲) با حرکت کندشونده پایین می‌رود.

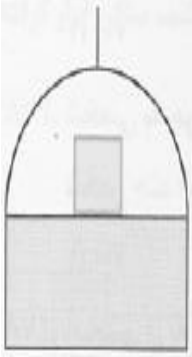
۳) با حرکت تندشونده بالا می‌رود. ۴) گزینه‌های (۲) و (۳) درست است.

جسمی به جرم ۱۵ کیلوگرم درون آسانسوری قرار گرفته است. نمودار سرعت ـ زمان حرکت آسانسور در حالتی که به سمت بالا حرکت کند به‌صورت مقابل است. نیروی عمودی تکیه‌گاه در حالتی کـه آسانسـور تندشونده حرکت می‌کند، چند برابر حالتی است که کندشونده حرکت می‌کند؟ ($g = ۱۰ m/s^۲$)



۱) $\frac{۳۳}{۳۲}$
۲) $\frac{۳۳}{۲۸}$
۳) $\frac{۲۸}{۳۳}$
۴) $\frac{۷}{۸}$

۲. مطابق شکل، وزنهٔ ۴۰۰ گرمی روی وزنهٔ ۲ کیلـوگرمی قـرار دارد. اگـر وزنـه‌ها را بـا شـتاب $۲/۵ m/s^۲$ تندشونده پایین بیاوریم، وزنهٔ سـنگین‌تر چـه نیرویـی بـه وزنـهٔ سـبک‌تر بـر حسـب نیوتـون وارد می‌کند؟ ($g = ۱۰ N/kg$)



۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴