

دینامیک



آیزاک (اسحاق) نیوتون دو ماه پس از مرگ پدرش در سال ۱۶۴۲ میلادی در انگستان به دنیا آمد. وقتی مادرش دوباره ازدواج کرد، نیوتون به پدر بزرگ و مادر بزرگ مادری اش سپرده شد. در خانواده مادری اش، تعلیم و تربیت فرزندان مرسوم بود. پس از آموزش ابتدایی در سال ۱۶۵۵ وارد دبیرستان شد. در سال ۱۶۶۱ در دانشگاه کمبریج ثبت نام نمود. در سال ۱۶۶۴ با فلسفه طبیعی جدید رنه دکارت، پی‌تر گاسندی و دیگران آشنا شد. در سال ۱۶۶۸ پس از دریافت فوق لیسانس استخدام و در سال ۱۶۶۹ سمت استادی کرسی ریاضیات در کالج ترینیتی به وی اعطا شد. در طول ۲۷ سال بعد، ترینیتی خانه نیوتون بود و تمام دست‌آوردهای علمی اش از همین سال‌های کمبریج سرچشمه گرفته است.

دوره ۱۶۶۵ تا ۱۶۶۶ را سال سرنوشت‌ساز نیوتون نامیده‌اند. این دوره پیش از هر چیز، دوره بزرگ‌ترین دست‌آوردهای ریاضی او بود، و به مقاله‌ای که خودش آن را فلوکسی (امروزه حسابان نامیده می‌شود) نامید منجر شد. از آن زمان تا به امروز، حسابان به صورت ابزار اصلی فیزیک درآمده است.

نیوتون در سال سرنوشت، به علم مکانیک نیز روی آورد و با الهام از آثار گذشتگان خود از قبیل گالیله و کپلر گرانش عمومی را کشف کرد.

در سال ۱۶۶۵ به موضوع رنگ علاقه‌مند شد و به این ایده نو گرایش پیدا کرد که نور خورشید، خالص و ساده نیست و از طیفی رنگی حاصل می‌شود. به کمک منشور، فریزهای رنگی اطراف جسم‌ها را دید و به کمک آن آزمایشی را تدارک دید که

توانست طیف نور خورشید را روی پرده تشکیل دهد. در سال ۱۶۶۹ برای حذف ابیراهی رنگی در تلسکوپ شکستی، تلسکوپ بازتابی را اختراع کرد و تقریباً در همین سال تلسکوپ بازتابی را ساخت. در سال ۱۷۰۳ کتاب اول اپتیک خود را، که دربرگیرنده محتوای درس‌هایی بود که طی ۳۰ سال قبل از آن می‌داد، بازنویسی کرد.

مجموعه‌ای دربارهٔ دینامیک شروع می‌شود که شامل سه قانون حرکت است و هنوز هم به‌عنوان پایه‌های فیزیک آموزش داده می‌شوند. این اثر نیوتون، بلافاصله در انگلستان به عنوان یک شاهکار شناخته شد. شهرت تازه باعث شد که نیوتون در سال ۱۶۹۶ از کمبریج به لندن برود. در آنجا ابتدا سرپرست و سپس رئیس ضراب‌خانه، و بعد از سال ۱۷۰۳ رئیس انجمن سلطنتی شد. داستان کامل زندگی نامهٔ نیوتون را در CD ضمیمه بخوانید.

در حدود سال ۱۶۷۰ توجه نیوتون از چیزهایی که به نام او می‌شناسیم منحرف شد و به کیمیاگری و الهیات تمایل پیدا کرد و تقریباً ۱۵ سال از عمرش را به این چیزها اختصاص داد.

در سال ۱۶۸۴ ملاقات ادموند هالی با وی و طرح سؤالی در مورد دینامیک مدارها، دوباره نیوتون را به فیزیک برگرداند. او در سال ۱۶۸۷ کتاب مبانی ریاضی فلسفهٔ طبیعی یا پرنسیپا را تألیف کرد.

نیوتون در پرنسیپا به علم مکانیک بازگشت. این اثر با

۱-۲- قانون‌های نیوتون

راهنمای تدریس: از آنجا که دانش‌آموزان در فیزیک ۲ و آزمایشگاه با قانون‌های نیوتون و کاربرد آنها در یک بعد تا حدود زیادی آشنا شده‌اند، توصیه می‌شود پیش از بیان دوبارهٔ این قانون‌ها، از دانش‌آموزان بخواهید تا درک خود را از این قانون‌ها ارائه نمایند. پس از آن با طرح پرسش‌های مناسب ببینید تا چه میزان درک دانش‌آموزان از مفهوم‌های نیرو و جرم صحیح است.

در تمام این فصل برای بررسی اصول دینامیک در یک بعد و در صفحه دو مفهوم نیرو و جرم را به کار می‌بریم و ضرورت دارد که آموخته‌های قبلی دانش‌آموزان در این زمینه، در کلاس مطرح شده و در صورتی که قضاوت‌ها و پیش‌داوری‌های نادرستی وجود داشته باشد، اصلاح شود.

تجربه نشان می‌دهد هرچند تبیین و بیان قانون‌های نیوتون برای اکثر دانش‌آموزان ساده است، با این وجود درک این قانون‌ها و کارکردن با آن‌ها برای بسیاری از دانش‌آموزان دشوار است. این امر دلایل مختلفی دارد ولی مهم‌ترین دلیل آن است که پیش از اینکه دانش‌آموزان به مطالعهٔ فیزیک بپردازند، سال‌های زیادی قدم زده‌اند، توپ پرتاب کرده‌اند، جعبه‌ای را کشیده یا هل داده‌اند و ده‌ها کار مشابه که جملگی شامل حرکت بوده‌اند را انجام داده‌اند. به همین دلیل نظراتی را براساس «عقل سلیم» دربارهٔ حرکت و عامل‌های ایجاد کنندهٔ آن به دست آورده‌اند. از آنجا که بسیاری از این نظرات مبتنی بر «عقل سلیم» قابلیت تحلیل منطقی را ندارند،

دینامیک

نگاهی به فصل: قانون‌های نیوتون از جملهٔ قانون‌های اساسی و بنیادی در دانش فیزیک به‌شمار می‌روند. این قانون‌ها، کاربردهای گسترده‌ای در فناوری و غالب رشته‌های مهندسی دارند. در صنعت، امور ساختمانی، دریانوردی، فضاوردی و... اصول حاکم بر پدیده‌ها از قانون‌های نیوتون پیروی می‌کنند.

شما در فیزیک ۲ و آزمایشگاه، با قانون‌های نیوتون آشنا شدید و دیدید که چگونه می‌توان آنها را برای حل مسئله‌های دینامیک در یک بُعد به کار برد. در این فصل، پس از یادآوری این قانون‌ها، کاربرد آنها را در حل مسئله‌ها، در دینامیک دوبعدی، بررسی می‌کنیم.

۱-۲- قانون‌های نیوتون

قانون اول نیوتون: «هر جسمی، حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود را روی خط راست حفظ می‌کند، مگر آنکه تحت تأثیر نیرو یا نیروهای، مجبور به تغییر آن حالت شود.»

قانون دوم نیوتون: «نیروی برآیند وارد بر جسم برابر است با حاصل ضرب جرم جسم در شتاب آن.» یعنی:

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

به عبارت دیگر شتاب یک جسم در همان جهت نیروی برآیند وارد بر آن است و با نیروی برآیند تقسیم بر جرم جسم برابر است:

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

(۱-۲)

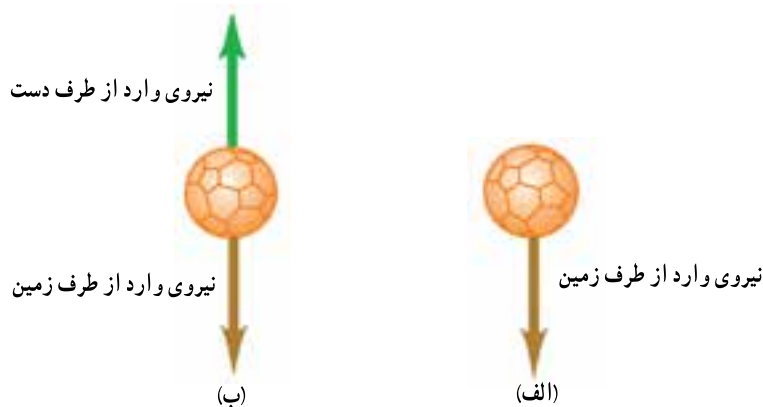
توجه کنید در رابطه بالا، \vec{F} برآیند نیروهای وارد بر جسم است که معمولاً به صورت $\sum \vec{F}$ نیز نوشته می‌شود.

قانون سوم نیوتون: «هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول

۳۷

بخش بزرگی از کار ما به عنوان معلم در آموزش فیزیک در این فصل و سایر موضوع‌های دیگر آن است که به دانش‌آموزان کمک کنیم تا تشخیص دهند که چگونه بعضی اوقات این نظرات براساس «عقل سلیم» آنها را گمراه می‌کند و چگونه درک خود از دنیای فیزیک را به گونه‌ای سامان دهند که با نتیجهٔ آزمایش‌ها سازگار باشد.

از دانش‌آموزان بخواهید که به‌طور جداگانه، نیروهای وارد بر تویی را رسم کنند که به طرف بالا پرتاب شده و در حال بالا رفتن است. مقاومت هوا را نادیده بگیرید.
پاسخ درست در شکل ۱-الف نشان داده شده است ولی تجربه نشان می‌دهد بیشتر دانش‌آموزان با توجه به آنچه پیش از این بیان شد، به اشتباه پاسخ را به صورت شکل ۱-ب بیان می‌کنند.



شکل ۱

پاسخ دانش‌آموزان به این پرسش ساده نشان می‌دهد که تا چه میزان درک دانش‌آموزان از مفهوم نیرو و قانون‌های نیوتون در حین حرکت یک جسم درست است.

اگر هیچ نیرویی بر جسم وارد نشود، سرعت جسم نمی‌تواند تغییر کند؛ یعنی ممکن نیست که جسم شتاب بگیرد (مبانی فیزیک).

قانون دوم نیوتون درباره حرکت :

اگر نیروی خارجی خالصی بر جسمی اثر کند، آن جسم شتاب می‌گیرد. جهت شتاب همان جهت نیروی خالص است. جرم جسم ضرب در شتاب آن برابر است با بردار نیروی خالص. (فیزیک دانشگاهی).

نیروی برابند وارد بر جسم برابر است با حاصل ضرب جرم جسم در شتاب آن (مبانی فیزیک).

قانون سوم نیوتون درباره حرکت :

اگر جسم A نیرویی بر جسم B وارد کند (یک «کنش»)، آنگاه

قانون‌های نیوتون در کتاب‌های فیزیک پایه به بیان‌های مختلفی مطرح می‌شود که همه این بیان‌ها در برگرفته مضمونی مشترک‌اند. در ادامه و به جهت اهمیت موضوع، بیان قانون‌های نیوتون را از دو کتاب مرجع و معتبر جهانی، که براساس آخرین یافته‌های پژوهشی در آموزش فیزیک به روز می‌شوند، انتخاب کرده‌ایم تا با آنها آشنا شوید. این دو کتاب عبارت‌اند از: فیزیک دانشگاهی ویراست سیزدهم^۱ (سال ۲۰۱۲ میلادی) و مبانی فیزیک ویراست نهم^۲ (سال ۲۰۱۱).

قانون اول نیوتون درباره حرکت :

جسمی که هیچ نیروی خالصی بر آن عمل نمی‌کند با سرعت ثابت (که ممکن است صفر باشد) و شتاب صفر حرکت می‌کند. (فیزیک دانشگاهی).

^۱— University Physics, 13th edition, Sears and Zemansky's, 2012.

^۲— Fundamental Physics, 9th edition, Halliday and Resnick, 2011.

وقتی دو جسم بر هم کنش داشته باشند، نیروهایی که این دو جسم بر یکدیگر وارد می‌کنند همیشه اندازه‌های مساوی و جهت‌های مخالف هم دارند (مبانی فیزیک).

جسم B نیز نیرویی بر جسم A وارد می‌کند («واکنش»). این دو نیرو دارای بزرگی یکسان بوده ولی در خلاف جهت یکدیگرند. این دو نیرو بر دو جسم مختلف وارد می‌شوند (فیزیک دانشگاهی).

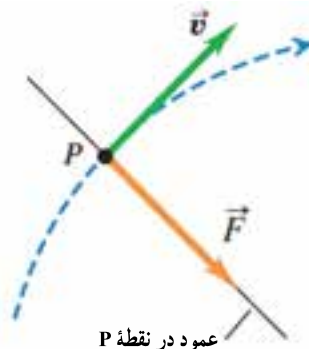
تمرین ۱-۲

پاسخ:

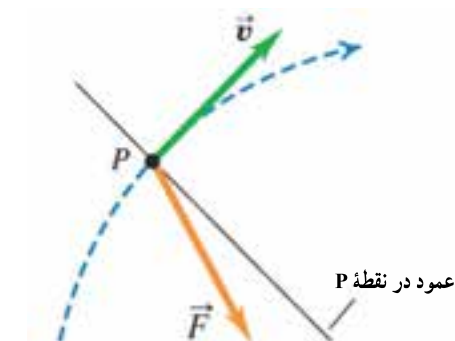
۱- نیرو

۲- شتاب (شتاب متوسط)، نوشتن «نیرو» نیز قابل قبول است.

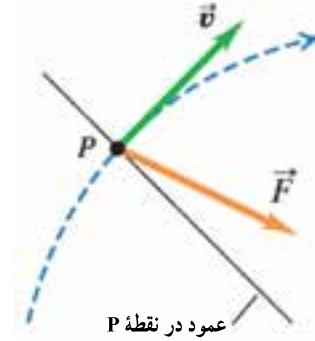
۳- بر یکدیگر عمودند. (این پاسخ در صورتی قابل قبول است که بزرگی سرعت ثابت بماند). در صورتی که بزرگی سرعت رو به افزایش باشد، سرعت و نیرو با هم زاویه‌ای کمتر از 90° می‌سازند و چنانچه بزرگی سرعت رو به کاهش باشد، سرعت و نیرو با هم زاویه‌ای بزرگ‌تر از 90° می‌سازند (شکل ۲).



(الف) هرگاه بر یک مسیر خمیده بزرگی سرعت ثابت باشد.



(ب) هرگاه بر یک مسیر خمیده بزرگی سرعت رو به کاهش باشد.



(ب) هرگاه بر یک مسیر خمیده بزرگی سرعت رو به افزایش باشد.

شکل ۲

۴- شتابدار تند شونده.

۵- شتابدار کند شونده.

نیروی هم‌اندازه، هم راستا و در خلاف سوی آن وارد می‌کند.

همچنین، در فیزیک (۲) و آزمایشگاه دیدیم که نیرویی که جسم اول وارد می‌کند، «کنش» و نیرویی که جسم دوم وارد می‌کند «واکنش» نام دارد. این دو نیرو همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوی مخالف یکدیگرند که هر یک بر دیگری وارد می‌کند.

تمرین ۱-۲

با مراجعه به آنچه در فیزیک (۲) و آزمایشگاه خوانده‌اید، جمله‌های زیر را کامل کنید.

- ۱- تغییر بردار سرعت بر اثر است.
- ۲- اگر در اثر اعمال نیرو، جسم ساکنی به حرکت درآید، در شروع حرکت بردارهای سرعت و هم‌جهت‌اند.
- ۳- در مسیر خمیده بردارهای سرعت و نیرو.....
- ۴- اگر جسمی بر روی خط راستی در حرکت باشد و بر آن نیرویی هم‌راستا و هم‌سو با سرعت حرکت آن وارد شود، حرکت جسم..... خواهد شد.
- ۵- در صورتی که جسم بر روی خط راستی در حرکت باشد و بر آن نیرویی در خلاف جهت سرعت اعمال شود، حرکت جسم خواهد شد.

تمرین ۲-۲

توضیح دهید چرا هنگامی که:

- ۱- پا به دیواری ضربه می‌زنید، پای شما درد می‌گیرد؟
- ۲- قایق‌ران بارو می‌زند، قایق در آب حرکت می‌کند؟
- ۳- چمدان را از زمین بلند می‌کنید، دست شما به‌طرف پایین کشیده می‌شود؟

۳۸



نیروی پارو به آب (نیروی واکنش) نیروی آب به پارو (نیروی کشش)

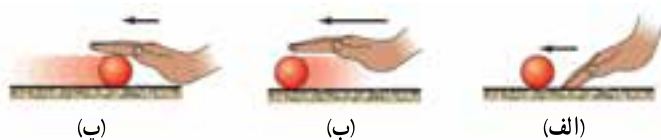
شکل ۳

پاسخ: انتظار می‌رود دانش‌آموزان بتوانند به کمک قانون‌های نیوتون به تمام پرسش‌های مطرح شده پاسخ قانع‌کننده‌ای بدهند. در پرسش ۳ دانش‌آموزان باید به نیروی وزن که از طرف زمین بر چمدان وارد می‌شود اشاره کنند و پاسخ پرسش ۲ در شکل ۳ نشان داده شده است.

پرسش‌های پیشنهادی

افزون بر پرسش‌هایی که در کتاب درسی مطرح شده است، می‌توانید از پرسش‌های زیر نیز در حین فرایند آموزش استفاده کنید.

۱- با توجه به درکی که دانش‌آموزان از مفهوم نیرو در فیزیک ۲ و آزمایشگاه به دست آورده‌اند، از آنها بخواهید



(پ)

(ب)

(الف)

در خصوص هر یک از اثرهای نیرو که در ادامه آمده است مثالی ارائه نمایند.

وارد شدن نیرو به یک جسم ممکن

است سبب



(ج)

(ث)

(ت)

شکل ۴

(الف) شروع حرکت آن شود.

(ب) افزایش سرعت آن شود.

(پ) کاهش سرعت آن شود.

(ت) توقف آن شود.

(ث) تغییر جهت حرکت آن شود.

(ج) تغییر شکل آن شود.

(راهنمایی: شکل ۴ را ببینید.)

۲- شکل ۵ نیروسنجی را در

چهار وضعیت متفاوت نشان می‌دهد.

این شکل بیان‌کننده کدام ویژگی

نیروهاست؟



شکل ۵

۳- شکل ۶ نیروهای کنش و واکنش را در حین راه رفتن نشان می‌دهد. روی شکل هر یک از این نیروها را با شرح کافی تعیین کنید.



شکل ۶

فعالیت پیشنهادی

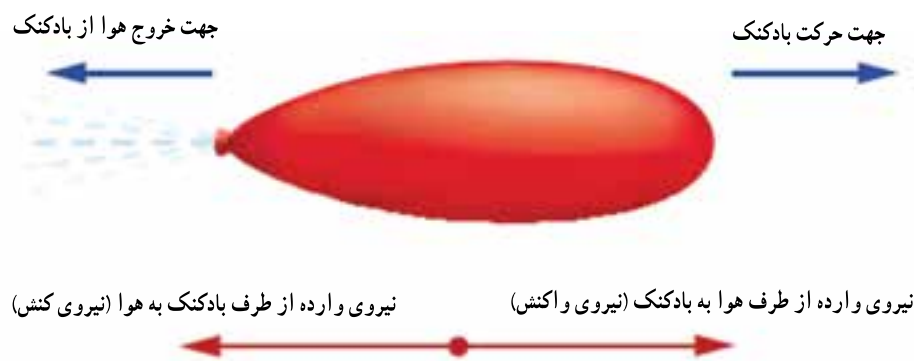


شکل ۷

برای نشان دادن خاصیت سختی یک جسم آزمایش‌های ساده‌ای می‌توان انجام داد. یکی از این آزمایش‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. توصیه می‌شود این فعالیت ساده را در کلاس درس انجام دهید.

فعالیت ۱-۲

پیش از بررسی این فعالیت، می‌توانید بادکنکی را در اختیار یکی از دانش‌آموزان قرار دهید و پس از دمیدن در آن، بادکنک را رها کنید. اکنون از دانش‌آموزان بخواهید دلیل حرکت بادکنک را شرح دهند. آنچه دانش‌آموزان در این خصوص بیان می‌کنند را به نحوه حرکت موشک سوق دهید. شکل ۸ دلیل حرکت بادکنک را نشان می‌دهد.



شکل ۸

۴- آب از فواره مطابق شکل ۱-۲ خارج می‌شود و فواره می‌چرخد؟



شکل ۱-۲

فعالیت ۱-۲

در شکل ۲-۲ تصویر موشکی در حال پرتاب را مشاهده می‌کنید. براساس قانون سوم نیوتون چگونگی حرکت آن را شرح دهید.



شکل ۲-۲

۳۹

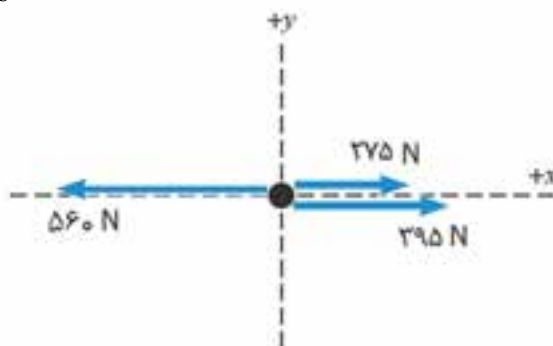
شکل ۹ دو نفر را در حال هل دادن اتومبیلی نشان می‌دهد. نیروی وارده از طرف این دو نفر به اتومبیل در امتداد افق و بزرگی آنها 275 N و 395 N است. بزرگی نیروی اصطکاک که مخالف حرکت اتومبیل است، 560 N و جرم اتومبیل 1850 kg است. شتاب حرکت اتومبیل را پیدا کنید.



شکل ۹

حل: اتومبیل را به صورت یک ذره فرض می‌کنیم و نمودار نیروهای وارد بر آن را رسم می‌کنیم (شکل ۱۰). از قانون دوم نیوتون داریم:

$$a = \frac{+110\text{ N}}{1850\text{ kg}} = 0.059\text{ m/s}^2$$



شکل ۱۰

مثال‌های مفهومی

اتومبیل A که با سرعت ثابت 100 km/h در یک مسیر مستقیم در حرکت است از اتومبیل B که با سرعت شتاب 80 km/h در همان مسیر حرکت می‌کند، جلو می‌افتد. نیروی خالص وارد به کدام اتومبیل بیشتر است؟
پاسخ: چون سرعت هر دو اتومبیل ثابت است، نیروی خالص وارد بر هر کدام از آنها صفر است. به نظر می‌رسد

این نتیجه‌گیری با تصور «عقل سلیم» که اتومبیل سریع‌تر را باید نیروی بزرگ‌تری هل دهد در تناقض است. دانش‌آموزان باید توجه کنند که نیروی رو به جلوی اتومبیل A (به لطف موتور پرقدرت آن) خیلی بیشتر از نیروی رو به جلو در اتومبیل B است، ولی یک نیروی رو به عقب نیز به هر یک از اتومبیل‌ها وارد می‌شود که از نیروی اصطکاک و مقاومت هوا ناشی می‌شود.

آیا \vec{ma} نیروست؟

پاسخ: متأسفانه بسیاری از دانش‌آموزان \vec{ma} را به عنوان یک نیرو به کار می‌برند. آنها باید به خاطر بسپارند که اگرچه \vec{ma} با جمع برداری تمام نیروهایی که بر جسم عمل می‌کند یعنی $\sum \vec{F}$ برابر است ولی بردار \vec{ma} یک نیرو نیست. شتاب نتیجه یک نیروی خالص غیر صفر است اما خود، یک نیرو نیست. این موضوع با «عقل سلیم» سازگار است که فکر کنیم یک «نیروی شتاب» وجود دارد که هنگامی که اتومبیل ما از حال سکون به جلو شتاب می‌گیرد، ما را در صندلی خود به عقب هل می‌دهد. اما چنین نیرویی وجود ندارد؛ بلکه لختی ما موجب می‌شود تا نسبت به زمین ساکن بمانیم و اتومبیل اطراف ما را شتاب می‌دهد. ابهام موجود در «عقل سلیم» هنگامی بروز می‌کند که سعی کنیم قانون دوم نیوتون را جایی به کار ببریم که معتبر نیست؛ یعنی در چارچوب مرجع نالخت اتومبیل شتاب‌دار. معلمان ارجمند توجه دارند که در این کتاب ما همواره حرکت را تنها نسبت به چارچوب‌های مرجع لخت بررسی می‌کنیم. یادآوری می‌شود

که چارچوب مرجعی که در آن قانون‌های نیوتون معتبر باشند، چارچوب مرجع لخت نامیده می‌شود. زمین دست کم با تقریب یک چارچوب لخت است ولی اتومبیل شتاب‌دار نیست. (زمین به دلیل شتاب ناشی از چرخش و حرکت آن به دور خورشید، یک چارچوب کاملاً لخت نیست، گرچه این اثرها بسیار کوچک‌اند.)

مثال ۱-۲

صندوقی به جرم 10 kg روی یک سطح افقی با ضریب اصطکاک ایستایی 0.4 و ضریب اصطکاک جنبشی 0.2 قرار دارد. مطابق شکل ۲-۳ الف نیروسنجی به صندوق وصل می‌کنیم و آن را می‌کشیم.



شکل ۲-۳ الف

الف) نخست با نیرویی برابر با 20 N صندوق را می‌کشیم. آیا صندوق شروع به حرکت می‌کند؟ در این حالت، نیروی اصطکاک بین صندوق و سطح چه مقدار است؟
ب) نیروی وارد بر صندوق را به 60 N می‌رسانیم. در این حالت، نیروی اصطکاک چه مقدار است؟ شتاب حرکت صندوق را در این حالت حساب کنید.

پاسخ

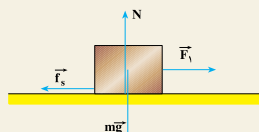
الف) در فیزیک (۲) و آزمایشگاه دیدیم، برای آنکه جسمی به حرکت درآید باید نیروی وارد بر آن از نیروی اصطکاک در آستانه حرکت بیشتر باشد.

بنابراین، ابتدا نیروی اصطکاک در آستانه حرکت (پیشینه نیروی اصطکاک) را محاسبه می‌کنیم:

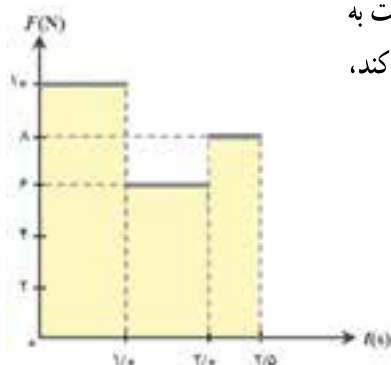
$$f_{s\max} = \mu_s N$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N = mg = 10 \times 10 = 100\text{ N}$$

$$f_{s\max} = 0.4 \times 100 = 40\text{ N}$$



شکل ۲-۳ ب



شکل ۱۱

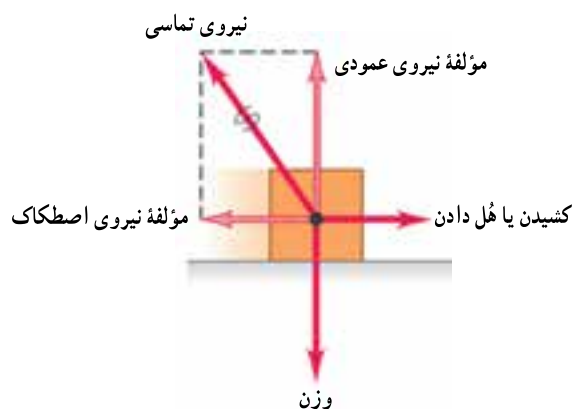
شکل ۱۱ نمودار تغییرات نیروی وارد بر جسمی به جرم 5 kg را نسبت به زمان نشان می‌دهد. اگر بر اثر این نیرو جسم از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن پس از $2/5$ ثانیه چند m/s است؟
پاسخ: 4 m/s .



شکل ۱۲

کارگری جعبه‌ای به جرم 100 kg را با نیروی افقی روی سطح همواری می‌کشد (شکل ۱۲).
الف) اگر جعبه با سرعت ثابت 2 m/s حرکت کند و ضریب اصطکاک جنبشی 0.2 باشد، بزرگی نیروی که کارگر به جعبه وارد می‌کند چقدر است؟
ب) اگر جعبه با شتاب ثابت 0.5 m/s^2 حرکت کند، بزرگی نیروی وارده چقدر است؟
پاسخ: الف) 196 N
ب) 201 N

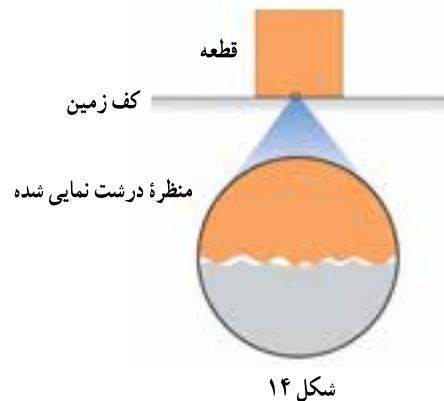
فعالیت ۲-۲



شکل ۱۳

هنگامی که سعی می‌کنیم جعبه سنگینی را روی کف زمین بلغزانیم، جعبه اصلاً حرکت نمی‌کند مگر آنکه آن را با کمینه نیروی معینی هل دهیم. همان‌طور که می‌دانیم دلیل این امر ناشی از یک تک نیروی تماسی است که سطح به جسم وارد می‌کند (شکل ۱۳). بردار مؤلفه عمود بر سطح، نیروی عمودی است که با \vec{N} نمایش داده می‌شود. بردار مؤلفه موازی با سطح (و عمود بر \vec{N}) نیروی اصطکاک است که با \vec{f} نمایش داده می‌شود. اگر سطح بدون اصطکاک باشد، آنگاه \vec{f} صفر است ولی نیروی عمودی کماکان وجود دارد.

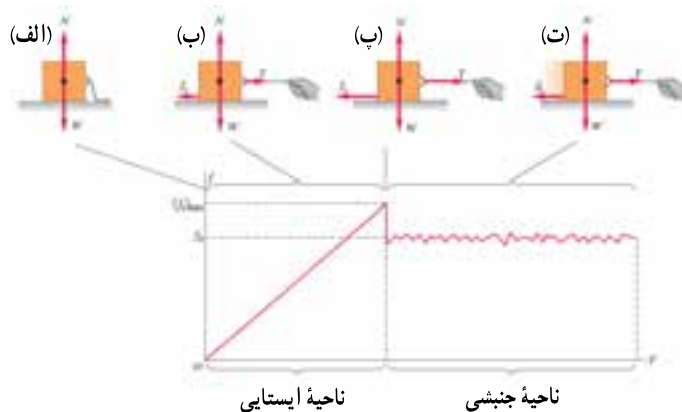
نیروهای عمودی و اصطکاک از برهم کنش‌های بین مولکول‌های واقع در نقطه‌های برجسته روی سطح‌های قطعه و کف زمین ناشی می‌شود و طبیعت این نیروها مبنای الکتریکی دارد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴

نمودار بزرگی نیروی اصطکاک

f به صورت تابعی از بزرگی نیروی اعمال شده T به جسم شکل ۱۴، در شکل ۱۵ نشان داده شده است. هنگامی که هیچ حرکت نسبی وجود نداشته باشد، بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی کوچکتر یا برابر با $\mu_s N$ است (شکل ۱۵ الف، ب و پ). هنگامی که حرکت نسبی وجود دارد، بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی برابر با $\mu_k N$ است (شکل ۱۵ ت).



شکل ۱۵

همان‌طور که در نمودار شکل ۱۵ دیده می‌شود نیروی اصطکاک جنبشی به‌طور کامل ثابت نیست. دلیل این امر آن است که همراه با لغزیدن سطح جسم روی سطح دیگر، پیوندهایی بین مولکول‌های سطح‌ها بسته و سپس شکسته می‌شوند و شمار کل این پیوندها در تغییر است. هموار کردن سطح‌ها در عمل، اصطکاک بین آنها را افزایش می‌دهد، زیرا مولکول‌های بیشتری می‌توانند با هم برهم کنش کرده و تشکیل پیوند دهند. در کنار هم قرار دادن دو سطح هموار از یک فلز می‌تواند موجب «جوش سرد» بین آنها شود. روغن کاری کردن به این دلیل به کار می‌آید که لایه نازکی از روغن بین دو سطح (نظیر سطح پیستون و دیوارهای سیلندر در موتور اتومبیل) مانع از آن می‌شود که دو سطح در عمل در تماس با هم قرار گیرند.

فهرستی از برخی مقادیر نوعی μ_k در جدول زیر داده شده است. توجه کنید که این مقادیر تقریبی‌اند، زیرا نیروهای

در این حالت، چون نیروی وارد شده کمتر از نیروی اصطکاک در آستانه حرکت است، صندوق ساکن می‌ماند و در نتیجه، شتاب حرکت آن صفر است. بنابر قانون دوم نیوتون داریم:

$$\Sigma F_x = ma \Rightarrow F_1 - f_k = ma = 0$$

$$f_k = 20 \text{ N}$$

ب) در این حالت، چون نیروی وارد شده بیشتر از نیروی اصطکاک در آستانه حرکت است، جسم حرکت می‌کند و نیروی اصطکاک، جنبشی است و با استفاده از رابطه $f_k = \mu_k N$ محاسبه می‌شود.

$$f_k = 0.2 \times 100 = 20 \text{ N}$$

برای محاسبه شتاب حرکت، قانون دوم نیوتون را می‌نویسیم:

$$F - f_k = ma$$

$$60 - 20 = 100 \cdot a$$

$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

فعالیت ۲-۲

جسمی را روی سطح افقی قرار دهید و آن را با یک نیروی افقی بکشید و به تدریج نیروی کشش را افزایش دهید تا این‌که جسم در آستانه حرکت قرار گیرد و سپس حرکت کند. حال، به‌طور کیفی، نمودار تغییر نیروی اصطکاک را، برحسب نیروی کشش، رسم کنید.

۲-۲-۲ چگونگی استفاده از قانون‌های نیوتون در حرکت یک جسم

در فیزیک (۲) و آزمایشگاه دیدیم که برای حل مسئله‌های دینامیک یک‌بعدی چه نکاتی را باید در نظر بگیریم. اکنون برای حل مسئله‌های دینامیک دوبعدی این نکات را یادآوری و تکمیل می‌کنیم:

- ۱- شکل ساده‌ای از جسم و تکیه‌گاه آن رسم می‌کنیم.
- ۲- نیروهایی را که اجسام دیگر بر جسم وارد می‌کنند، روی شکل مشخص می‌کنیم.
- ۳- دستگاه محورهای مختصات مناسب انتخاب می‌کنیم. (ضمن حل مسئله، با نحوه انتخاب

اصطکاک به سرعت جسم نسبت به سطح نیز بستگی دارند. در این کتاب به منظور تمرکز بر ساده‌ترین موارد، این اثر را نادیده می‌گیریم و فرض می‌کنیم که μ_k و f_k مستقل از سرعت‌اند.

| ضریب اصطکاک جنبشی μ_k | ضریب اصطکاک ایستایی μ_s | مواد |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| ۰/۵۷ | ۰/۷۴ | فولاد بر فولاد |
| ۰/۴۷ | ۰/۶۱ | آلومینیوم بر فولاد |
| ۰/۳۶ | ۰/۵۳ | مس بر فولاد |
| ۰/۴۴ | ۰/۵۱ | برنج بر فولاد |
| ۰/۴۰ | ۰/۹۴ | شیشه بر شیشه |
| ۰/۵۳ | ۰/۶۸ | مس بر شیشه |
| ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | تفلون بر تفلون |
| ۰/۸ | ۱/۰ | لاستیک بر بتن (خشک) |
| ۰/۲۵ | ۰/۳۰ | لاستیک بر بتن (تر) |

۲-۲- چگونگی استفاده از قانون‌های نیوتون در حرکت یک جسم

را که یک جسم بر جسم دوم وارد می‌کند به نیرویی که جسم دوم بر جسم اول وارد می‌کند مربوط سازیم.

ب) برای هر مسئله‌ای که در بردارنده نیروهایی است که بر یک جسم شتاب‌دار عمل می‌کنند باید از قانون دوم نیوتون استفاده کنیم. برای مثال اگر بخواهیم سرعت حرکت اتومبیلی را در زمانی که به پایین یک سرائیسی می‌رسد پیدا کنیم، به کمک قانون دوم نیوتون شتاب اتومبیل را به دست می‌آوریم و سپس به کمک معادله‌های شتاب ثابت، سرعت را به دست می‌آوریم.

افزون بر آنچه بیان شد، همواره از دانش‌آموزان بخواهید که به نتیجه‌هایی که به دست آورده‌اند نگاه کنند و بپرسند که آیا این نتیجه‌ها منطقی‌اند. برای مثال اگر نتیجه حل مسئله به صورت یک رابطه یا عبارت نمادین باشد، دانش‌آموزان باید سعی کنند مورد‌های ویژه‌ای را تصور کنند که برای آنها می‌توانند حدس بزنند که نتیجه به چه صورتی باید باشد. سپس بیازمایند و ببینند که آیا رابطه آنها در این مورد‌های ویژه به کار می‌آید یا خیر. همچنین اگر پاسخ مسئله‌ای دارای یکا باشد، باید ببینند آیا یکای آنها درست است؟ آیا پاسخ دارای علامت جبری درست است؟

راهنمای تدریس: پیش از آنکه به راهبردهای حل مسئله‌های دینامیک، که در این بخش آمده است، بپردازید توصیه می‌شود توجه دانش‌آموزان را به این موضوع جلب نمایید که از کدام یک از قانون‌های نیوتون با توجه به شرایط در حل مسئله‌های دینامیک بهره بگیریم. به این منظور به دو وضعیت زیر توجه کنید:

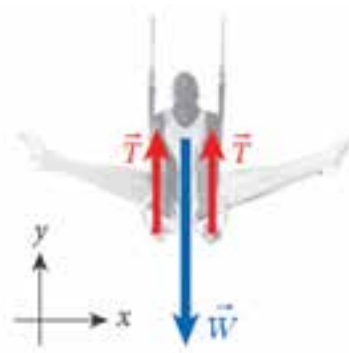
الف) برای هر مسئله‌ای که شامل نیروهایی باشد که بر یک جسم در حال تعادل، یعنی جسمی که یا در حال سکون است یا با سرعت ثابت حرکت می‌کند، وارد می‌شود باید از قانون اول نیوتون استفاده کرد. برای مثال اتومبیلی که ایستاده، در حال تعادل است ولی هنگامی نیز که این اتومبیل با سرعت ثابت در یک جاده مستقیم در حرکت است باز در حال تعادل است.

اگر بیش از یک جسم در مسئله مطرح باشد و جسم‌ها با یکدیگر برهم کنش داشته باشند، به استفاده از قانون سوم نیوتون نیز نیاز خواهیم داشت. با استفاده از این قانون می‌توانیم نیرویی

ژیمناستی به جرم 55 kg مطابق شکل ۱۶-الف در حال تعادل است. نیروی کشش هر نخ چقدر است؟



(الف)

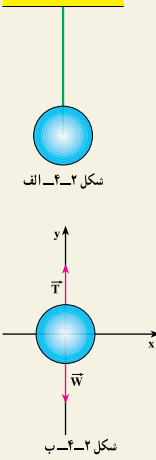


(ب)

شکل ۱۶

دستگاه مختصات مناسب نیز آشنا خواهیم شد.)
۴- نیروها را روی محورهای مختصات تجزیه می‌کنیم؛ یعنی، مؤلفه‌های هر نیرو را روی محورها تعیین می‌کنیم.
۵- با نوشتن قانون دوم نیوتون روی هریک از محورها، شتاب حرکت جسم را روی هر محور محاسبه می‌کنیم؛ به عبارت دیگر، مؤلفه‌های نیرو را روی هر محور به‌طور جداگانه، به‌صورت $F_x = ma_x$ و $F_y = ma_y$ می‌نویسیم.
۶- هرگاه چند جسم به هم متصل باشند، در صورتی که شتاب‌های حرکت آنها یکسان باشند، مجموعه را می‌توانیم به‌عنوان یک دستگاه (یا جرمی برابر مجموع جرم‌ها) در نظر بگیریم و قانون دوم را برای آن بنویسیم.
نحوه استفاده از قانون‌های نیوتون در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

مثال ۲-۲



جسمی به جرم $m = ۱۲ \text{ kg}$ را با طنابی که جرم آن ناچیز است، مطابق شکل ۲-۴-الف می‌آویزیم. نیروهای وارد بر جسم را تعیین کنید و مقدار هریک را به‌دست آورید.

پاسخ

نیروهای وارد بر جسم عبارت‌اند از:

نیروی وزن، که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود و نیرویی که از طرف طناب به جسم وارد می‌شود. چون جسم ساکن است، باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد؛ در نتیجه باید از طرف طناب، نیرویی در امتداد قائم و رو به بالا بر جسم اعمال شود. این نیرو را نیروی کشش طناب (نخ) می‌نامند که آن را با \vec{T} نمایش می‌دهیم.

نیروهای وارد بر جسم، در راستای محور y ‌اند و در شکل ۲-۴-ب نشان داده شده‌اند. بنابر قانون دوم نیوتون داریم:

$$T - mg = ma$$

شکل ۲-۴-الف

شکل ۲-۴-ب

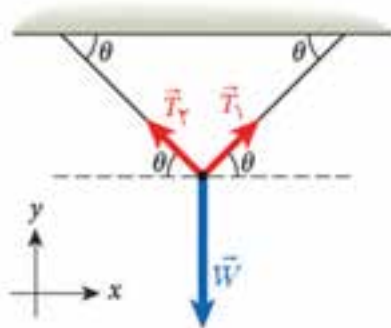
۴۲

حل: نمودار آزاد ژیمناست در شکل ۱۶-ب رسم شده است. با توجه به اینکه ژیمناست در حال تعادل است، و کشش نخ در امتداد قائم وارد می‌شود، داریم:

$$T + T - mg = 0 \Rightarrow T = \frac{1}{2}mg = ۲۷۰ \text{ N}$$

اگر ژیمناست به گونه‌ای از حلقه‌ها آویزان و در حال تعادل باشد که امتداد هر طناب با راستای افق زاویه ۴۵° بسازد، کشش هر نخ در این حالت چقدر است؟

حل: شکل ۱۷ نمودار آزاد ژیمناست را با توجه به شرایط ذکر شده نشان می‌دهد.



شکل ۱۷

شرط تعادل در امتداد محور x عبارت است از:

$$T_1 \cos \theta - T_2 \cos \theta = 0$$

و شرط تعادل در امتداد محور y عبارت است از:

$$T_1 \sin \theta + T_2 \sin \theta - mg = 0$$

با توجه به اینکه $T = T_1 = T_2$ ، داریم:

$$T = ۳۸۲ \text{ N}$$

فرض کنید کودکی در حال کشیدن سورتمه‌ای به جرم کل $15/3 \text{ kg}$ روی سطحی با ضرایب اصطکاک $\mu_s = 0/076$ و $\mu_k = 0/07$ است. بزرگی نیروی کشش سورتمه $25/3 \text{ N}$ و راستای آن با امتداد افق زاویه $24/5^\circ$ می‌سازد. شتاب سورتمه چقدر است؟

حل: شکل ۱۸ نیروهای وارد بر سورتمه را نشان می‌دهد.

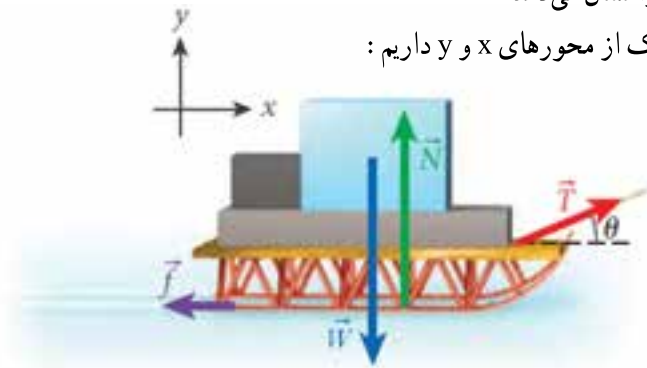
با نوشتن قانون دوم نیوتون در امتداد هر یک از محوره‌های x و y داریم:

$$ma = T \cos \theta - f$$

$$0 = T \sin \theta - mg + N$$

یا

$$a = \frac{T}{m} (\cos \theta + \mu \sin \theta) - \mu g$$



شکل ۱۸

ابتدا به جای μ مقدار ضریب اصطکاک ایستایی $\mu_s = 0/076$ را قرار می‌دهیم. اگر مقدار a منفی به دست آید، نتیجه می‌گیریم که نیروی وارد شده به سورتمه برای حرکت آن کافی نبوده است. محاسبه نشان می‌دهد در این حالت شتاب برابر مقدار مثبت $0/81 \text{ m/s}^2$ خواهد شد. مثبت بودن مقدار شتاب نشان می‌دهد که سورتمه در حال حرکت است و باید به جای μ ، مقدار ضریب اصطکاک جنبشی را وارد کنیم. در نتیجه شتاب حرکت سورتمه عبارت است از:

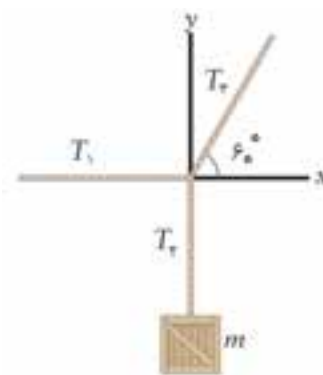
$$a = 0/87 \text{ m/s}^2$$

تمرین‌های پیشنهادی

در شکل ۱۹ سامانه طناب‌ها و جعبه در حال تعادل اند.

اگر جرم جعبه 45 kg باشد، کشش‌های هر یک از طناب‌ها را پیدا کنید.

پاسخ: $T_1 = 260 \text{ N}$ و $T_2 = 440 \text{ N}$ و $T_3 = 510 \text{ N}$



شکل ۱۹

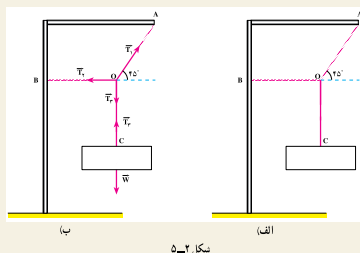
چون $a = 0$ داریم:

$$T = mg = 12 \times 9.8 = 117.6 \text{ N}$$

در هر نقطه از طناب کشیده شده، نیرویی از طرف یک‌بخش بر بخش دیگر وارد می‌شود. نیروی کشش طناب در هر نقطه برابر نیرویی است که در صورت پاره شدن طناب در آن نقطه، باید وارد کنیم تا وضعیت اولیه آن حفظ شود؛ یعنی، اگر جسم ساکن بوده یا جای‌گزینی این نیرو در آن نقطه همچنان ساکن بماند و اگر در حرکت بوده با همان حالت قبل از پاره شدن حرکت کند.

مثال ۳-۲

یک تابلوی تبلیغاتی مطابق شکل ۵-۲ الف از پایه‌ای آویزان است. اگر وزن تابلو 120 N باشد، کشش طناب‌های OA و OB را محاسبه کنید. (از وزن طناب‌ها چشم‌پوشی کنید.)



شکل ۵-۲

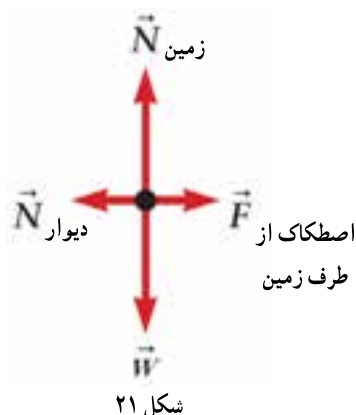
پاسخ

در شکل ۵-۲ ب نیروهای وارد بر گره O و تابلو نشان داده شده‌اند. قانون دوم

شخصی مطابق شکل ۲۰ به دیواری تکیه داده است. نمودار جسم آزاد این شخص را رسم کنید.



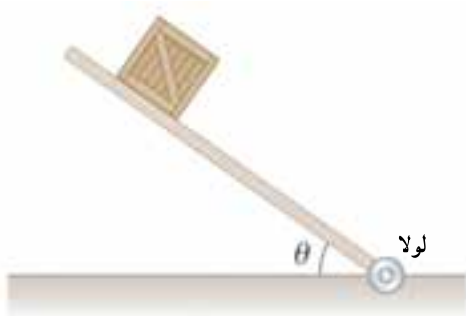
شکل ۲۰



پاسخ: شکل ۲۱ را ببینید.

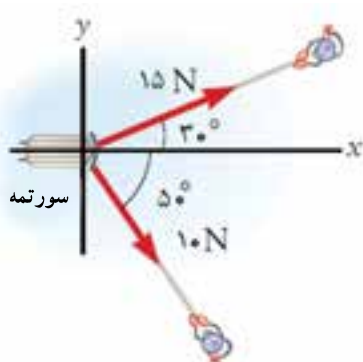
شکل ۲۱

اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین سطوح تماس در شکل ۲۲ برابر $\mu_s = 0.3$ باشد، زاویه θ چقدر باشد تا جعبه درست در آستانه حرکت قرار گیرد؟
پاسخ: حدود ۱۷ درجه



شکل ۲۲

دو کودک مطابق شکل ۲۳ در حال کشیدن سورتمه‌ای به جرم 15 kg روی سطح بدون اصطکاکی هستند.
الف) بزرگی و جهت شتاب حرکت سورتمه را پیدا کنید.
ب) چه مدت طول می‌کشد تا بزرگی سرعت سورتمه به 1 m/s برسد؟
پاسخ: الف) $1/3 \text{ m/s}^2$ ، -47°
ب) $7/7 \text{ s}$



شکل ۲۳

دو کارگر، اکبر و اصغر، مطابق شکل ۲۴ در حال جابه‌جا کردن جعبه‌ای به جرم 45 kg هستند. بزرگی نیرویی که اکبر به جعبه وارد می‌کند همواره دو برابر بزرگی نیرویی است که اصغر وارد می‌کند. بزرگی نیرویی که اصغر به جعبه وارد می‌کند N ۱۶ و زاویه θ برابر 25° است. با فرض اینکه ضریب اصطکاک جنبشی بین سطوح 0.56 است، اگر



شکل ۲۴

بخواهیم تا آنجا که ممکن است جعبه سریع‌تر حرکت کند،
الف) اکبر باید جعبه را بکشد و اصغر هل دهد یا
برعکس؟ چرا؟

ب) شتاب حرکت جعبه را در هر دو حالت پیدا

کنید.

پاسخ: الف) باید اکبر جعبه را بکشد و اصغر هل دهد.

ب) 5 m/s^2 (اکبر بکشد و اصغر هل دهد) و $3/3 \text{ m/s}^2$ (اکبر هل دهد و اصغر بکشد).

مثال پیشنهادی

در شکل ۲۵ وزن موتور $W = 315^\circ \text{ N}$ و کل سامانه در حال تعادل است. بزرگی نیروهای کشش T_1 و T_2 چقدر

است؟



شکل ۲۵

حل: در شکل ۲۶، موتور اتومبیل به صورت

یک ذره فرض شده و نمودار نیروهای وارد بر آن رسم شده است.

در امتداد محور x داریم:

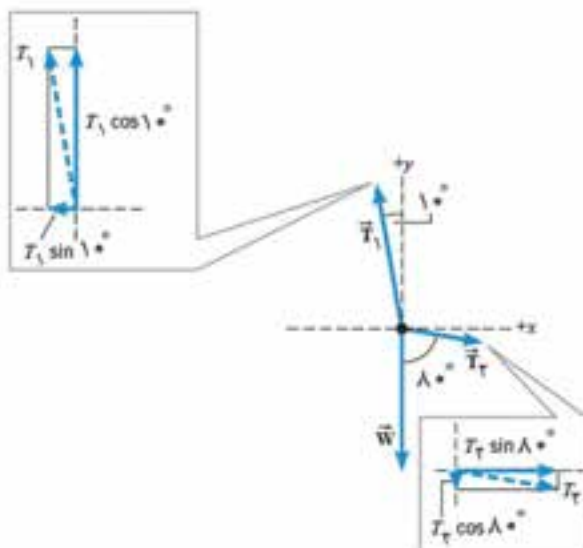
$$-T_1 \sin 1^\circ + T_2 \sin 8^\circ = 0$$

و در امتداد محور y داریم:

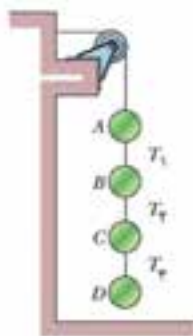
$$T_1 \cos 1^\circ - T_2 \cos 8^\circ - W = 0$$

از حل این معادله‌ها داریم:

$$T_2 = 582 \text{ N}, T_1 = 3/3 \times 10^3 \text{ N}$$

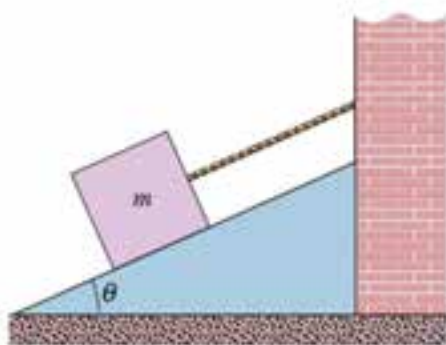


شکل ۲۶



شکل ۲۷

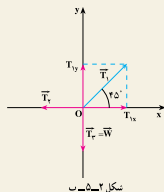
شکل ۲۷ وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن چهارگلوله توسط رشته نخ‌هایی آویزان شده‌اند. نخ بالایی که از همه درازتر است، از روی قرقه‌ای بدون اصطکاک می‌گذرد و نیرویی به اندازه 98 N بر دیواری که به آن متصل شده است وارد می‌آورد. نیروهای کشش در نخ‌های کوتاه‌تر عبارت‌اند از $T_1 = 58/8\text{ N}$ ، $T_2 = 49/0\text{ N}$ ، $T_3 = 9/8\text{ N}$. جرم هر یک از گلوله‌های A، B، C و D را پیدا کنید.
پاسخ: به ترتیب 4 kg ، 1 kg ، 4 kg و 1 kg .



شکل ۲۸

در شکل ۲۸ فرض کنید جرم قطعه $8/5\text{ kg}$ ، زاویه $\theta = 30^\circ$ و سطوح تماس بدون اصطکاک باشند. مطلوب است:
(الف) نیروی کشش طناب.
(ب) نیروی عمودی وارد بر قطعه.
(پ) شتاب قطعه چنانچه طناب پاره شود.
پاسخ: (الف) 42 N
(ب) 72 N
(پ) $4/9\text{ m/s}^2$

نیوتون را برای گره O می‌نویسیم. نیروهای وارد بر گره عبارت‌اند از:
 \vec{T}_1 نیروی کشش طناب در امتداد OA، \vec{T}_2 نیروی کشش طناب در امتداد OB و \vec{T}_3 نیروی کشش در امتداد OC داریم: $T_3 = W$ (چرا؟). با انتخاب دستگاه محوره‌ای مناسب مطابق شکل ۲۹ نیروها را روی محوره‌ای مختصات تصویر می‌کنیم.



چون گره در حال سکون است، داریم:

$$F_x = 0 \Rightarrow T_{1x} - T_2 = 0$$

$$F_y = 0 \Rightarrow T_{1y} - W = 0$$

$$T_{1y} = T_1 \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} T_1 \quad \text{و} \quad T_{1x} = T_1 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} T_1$$

با جایگزینی مقادیر T_{1y} و T_{1x} در معادله‌های بالا داریم:

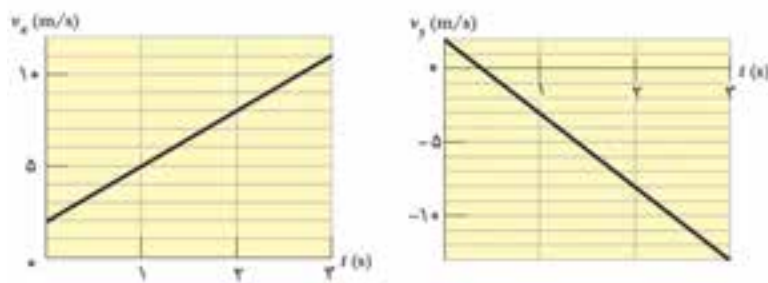
$$\frac{\sqrt{2}}{2} T_1 - T_2 = 0$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} T_1 - 120 = 0$$

با حل این دو معادله داریم:

$$T_1 = 170\text{ N} \quad \text{و} \quad T_2 = 120\text{ N}$$

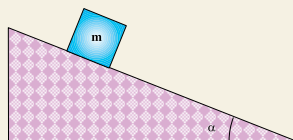
نیروی افقی ثابت \vec{F} یک بسته پستی به جرم 2 kg را روی سطح بدون اصطکاک، که دستگاه مختصات xy روی آن رسم شده است، هل می‌دهد. مؤلفه‌های x و y سرعت بسته بر حسب زمان t در شکل ۲۹ رسم شده‌اند. بزرگی و جهت نیروی \vec{F} را به دست آورید.
پاسخ: بزرگی نیرو $11/7\text{ N}$ و جهت آن 59° (زیر محور x) است.



شکل ۲۹

مثال ۲-۴

جسمی به جرم m را روی سطح شیب‌داری که با افق زاویه α می‌سازد، قرار می‌دهیم:
الف) شتاب حرکت جسم و نیروی عمودی تکیه‌گاه را محاسبه کنید (در این قسمت اصطکاک را نادیده بگیرید).

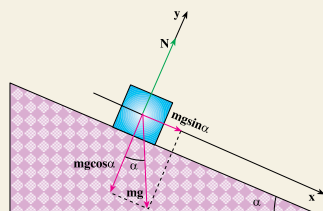


شکل ۲-۴ الف

ب) اگر بر اثر نیروی اصطکاک، جسم روی سطح ساکن بایستد، نیروی اصطکاک چه مقدار خواهد بود. آن را محاسبه کنید.

پاسخ

الف) ابتدا نیروهای وارد بر جسم را رسم می‌کنیم. جسم در امتداد سطح شیب‌دار حرکت می‌کند. محور x را در راستای سطح شیب‌دار و در جهت حرکت و محور y را عمود بر آن سطح انتخاب می‌کنیم.



شکل ۲-۴ ب

۴۵

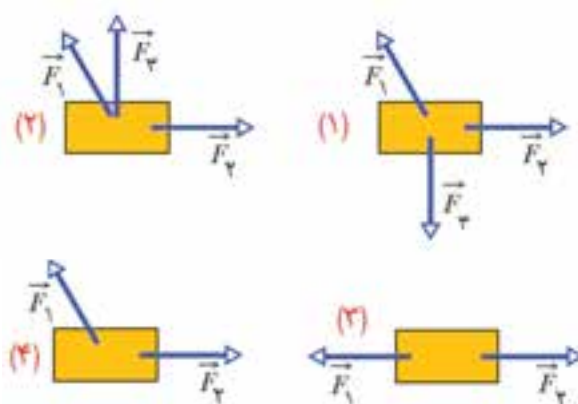
شکل ۳۰ چهار وضعیت را نشان می‌دهد که در آنها نیروهایی بر قطعه‌ای که روی سطح افقی بی‌اصطکاکی قرار دارد، وارد می‌شوند. اگر بزرگی این نیروها درست انتخاب شود، در کدام وضعیت ممکن است قطعه

الف) ساکن بماند؟

ب) با سرعت ثابت حرکت کند؟

پاسخ: الف) وضعیت‌های (۱) و (۳).

ب) باز هم وضعیت‌های (۱) و (۳).

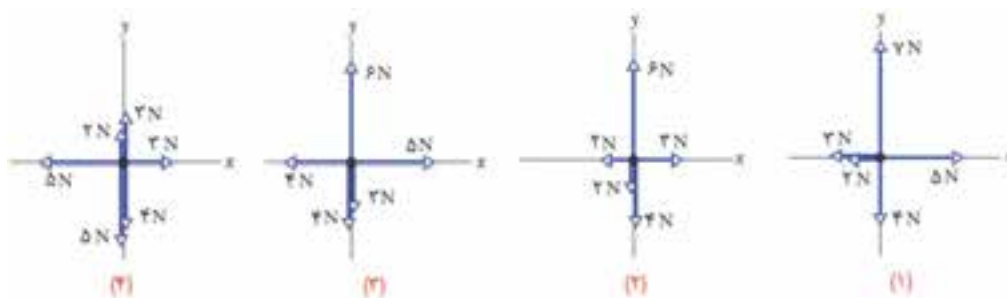


شکل ۳۰

شکل ۳۱ نوار جسم آزاد در چهار وضعیت را، که در هر یک از آنها جسمی بر اثر چند نیرو روی کف اتاق بی‌اصطکاکی کشیده می‌شود، نشان می‌دهد. در کدام وضعیت‌ها شتاب a جسم

الف) دارای مؤلفه x است؟

ب) دارای مؤلفه y است؟



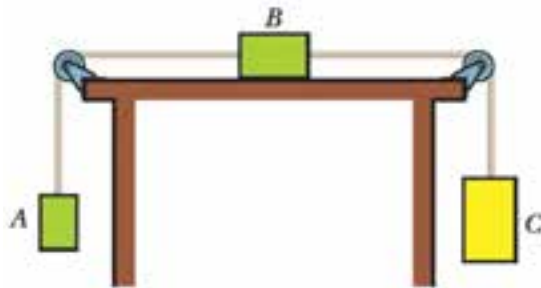
شکل ۳۱

پاسخ: الف) وضعیت‌های ۲، ۳ و ۴.

ب) وضعیت‌های ۱، ۳ و ۴.

در پرسش قبلی در هر وضعیت، جهت \vec{a} را یا با تعیین ناحیه ربعی در دستگاه مختصات یا با تعیین جهت در امتداد یکی از محورها مشخص کنید. (این کار را با اندکی محاسبه ذهنی می توان انجام داد.)
پاسخ: وضعیت (۱) در جهت $+y$ ، وضعیت (۲) در جهت $+x$ ، وضعیت (۳) ربع چهارم، وضعیت (۴) ربع سوم.

تمرین پیشنهادی



شکل ۳۲

شکل ۳۲ سه قطعه را نشان می دهد که با رشته نخ هایی که از روی قرقره های بی اصطکاک عبور کرده اند به هم متصل اند. قطعه B روی سطح بدون اصطکاک میزی قرار دارد. جرم قطعه ها بدین قرارند: $m_A = 6 \text{ kg}$ ، $m_B = 8 \text{ kg}$ و $m_C = 10 \text{ kg}$. هنگامی که قطعه ها رها می شوند، کشش در نخ طرف راست چقدر می شود؟
پاسخ: $81/7 \text{ N}$

پرسش های پیشنهادی

در شکل ۳۳، اگر قطعه در حال سکون باشد و زاویه θ بین راستای افقی و نیروی \vec{F} کمی افزایش یابد، چه تغییری در هر یک از کمیت های زیر رخ می دهد؟
الف) مؤلفه افقی نیرو، F_x .

ب) f_s .

پ) N .

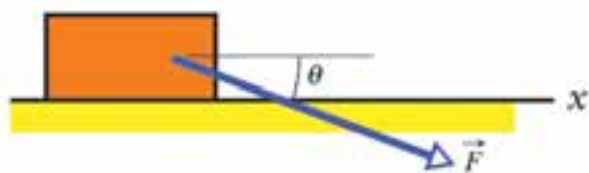
ت) $f_{s, \max}$.

پاسخ: الف) کاهش می یابد.

ب) کاهش می یابد.

پ) افزایش می یابد.

ت) افزایش می یابد.



شکل ۳۳

مؤلفه های وزن روی محورهای x و y به ترتیب عبارتند از:

$$mg \cos \alpha \text{ و } mg \sin \alpha$$

با توجه به قانون دوم نیوتون در راستای محور x داریم:

$$F_x = mg \sin \alpha = ma$$

$$a = g \sin \alpha$$

چون جسم در راستای محور y حرکت ندارد:

$$F_y = 0$$

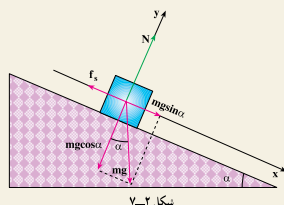
$$N - mg \cos \alpha = 0$$

و در نتیجه:

$$N = mg \cos \alpha$$

ب) نمودار نیروهای وارد بر جسم در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. چون

جسم ساکن است، برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است:



شکل ۷-۲

$$F_x = 0$$

$$mg \sin \alpha - f_s = 0$$

و از آنجا داریم:

$$f_s = mg \sin \alpha$$

در شکل ۳۴، نیروی افقی \vec{F}_1 به بزرگی 10 N بر قطعه‌ای که روی کف زمین قرار دارد وارد می‌شود، ولی قطعه نمی‌لغزد. در اینجا اگر بزرگی نیروی عمودی \vec{F}_2 را از صفر افزایش دهیم، کدام یک از کمیت‌های زیر تغییر می‌کند و به چه صورت؟

الف) بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی f_s وارد بر قطعه.

ب) بزرگی نیروی عمودی \vec{N} که از کف زمین بر قطعه وارد می‌شود.

پ) بزرگی بیشینه $f_{s, \max}$ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر قطعه.

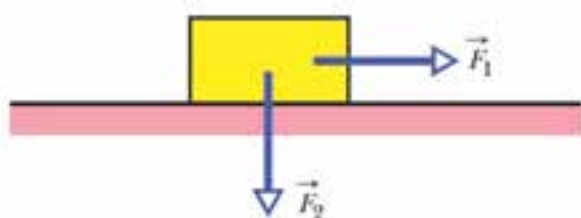
ت) آیا بالاخره جعبه به حرکت در می‌آید؟

پاسخ: الف) بدون تغییر می‌ماند.

ب) افزایش می‌یابد.

پ) افزایش می‌یابد.

ت) خیر.



شکل ۳۴

تمرین‌های پیشنهادی

تمرین ۳-۲

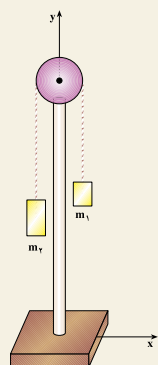
توضیح دهید که آیا می‌توان با استفاده از مثال ۴-۲ ب‌ضرب اصطکاک ایستایی جسم و سطح را محاسبه کرد.

فعالیت ۳-۲

آزمایشی برای تعیین ضریب اصطکاک ایستایی سطح‌های مختلف با استفاده از سطح شیب‌دار طراحی کنید.

مثال ۵-۲

فرقرده‌ای را مطابق شکل ۸-۲ الف بر روی پایه‌ای نصب می‌کنیم. دو وزنه $m_1 = 100\text{ g}$ و $m_2 = 150\text{ g}$ را با نخ‌ی سبک به یکدیگر وصل می‌کنیم و نخ را از نیلار فرقرده می‌گذرانیم. شتاب حرکت وزنه‌ها و نیروی کشش نخ را محاسبه کنید. این وسیله را ماشین اتوود می‌نامند.

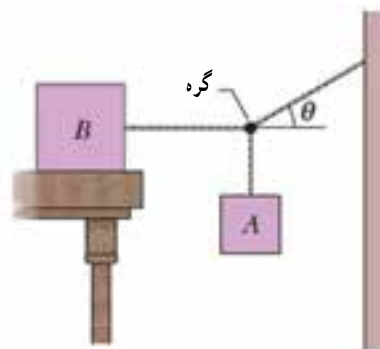


شکل ۸-۲ الف

۴۷

وزن قطعه B در شکل ۳۵ برابر 711 N است. ضریب اصطکاک ایستایی بین قطعه و سطح میز 25° است؛ زاویه θ برابر 3° است؛ طناب را در فاصله میان قطعه و گره افقی در نظر بگیرید. بیشینه وزن قطعه A را که به ازای آن مجموعه در حال سکون خواهد بود، به دست آورید.

پاسخ: 100 N



شکل ۳۵

قطعه‌های A، B و C به گونه‌ی شکل ۳۶ قرار گرفته و توسط طناب‌هایی با جرم ناچیز به یکدیگر متصل شده‌اند. وزن هر یک از قطعه‌های A و B برابر ۲۵ N و ضریب اصطکاک جنبشی بین هر قطعه و سطح ۳۵° است. قطعه C با سرعت ثابت پایین می‌رود.

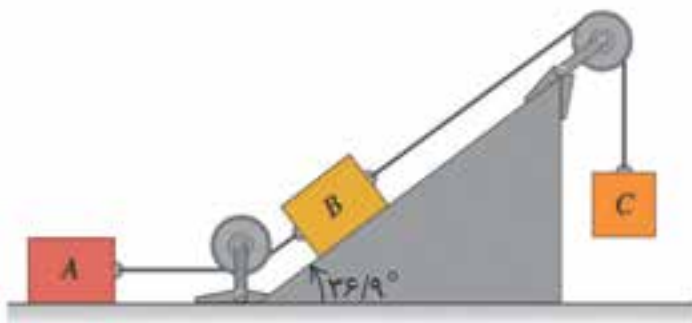
الف) نمودار جسم آزاد جداگانه رسم کنید که نیروهای وارد بر A و B را نشان دهند.

ب) کشش طنابی را که A و B را به هم متصل می‌کند بیابید.

پ) وزن قطعه C چقدر است؟

پاسخ: ب) ۸/۷۵ N

پ) ۳۰/۸ N



شکل ۳۶

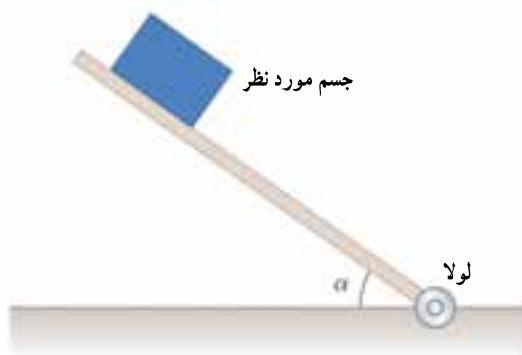
تمرین ۳-۲

پاسخ: اگر جسم در آستانه حرکت باشد، آنگاه می‌توان ضریب اصطکاک ایستایی جسم و سطح را پیدا کرد. در این صورت داریم:

$$f_{s,\max} = \mu_s N = \mu_s mg \cos \alpha$$

با توجه به اینکه $f_{s,\max} = mg \sin \alpha$ است، خواهیم داشت $\mu_s = \tan \alpha$

فعالیت ۳-۲

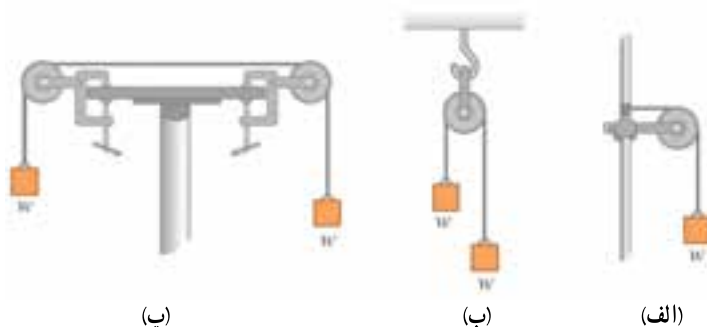


شکل ۳۷

آزمایش ساده‌ای مطابق شکل ۳۷ این امکان را فراهم می‌کند. جسم مورد نظر را روی سطح شیب‌داری که زاویه شیب آن، α ، قابل تغییر است قرار می‌دهیم. ابتدا زاویه α کم و سپس زاویه α را آنقدر افزایش می‌دهیم تا جسم در آستانه حرکت قرار گیرد. با اندازه‌گیری زاویه α و با استفاده از رابطه $\mu_s = \tan \alpha$ ضریب اصطکاک ایستایی قابل اندازه‌گیری است.

در شکل ۳۸ وزن هر یک از وزنه‌های آویخته W است. قرقه‌ها بی اصطکاک اند و طناب‌ها وزن ناچیزی دارند. کشش T را در هر مورد بر حسب W محاسبه کنید. در هر مورد نمودار یا نمودارهای جسم آزادی را که برای یافتن پاسخ به کار می‌برید اضافه کنید.

پاسخ: در تمام موارد، کشش T برابر W است.

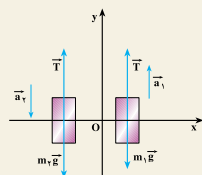


شکل ۳۸

پاسخ
نیروهای وارد بر جرم‌های m_1 و m_2 در شکل ۲-۸-۱ رسم شده است. چون جرم نخ، قرقه و نیروی اصطکاک ناچیز است، کشش طناب در تمام نقطه‌های آن یکسان است؛ بنابراین، $T_1 = T_2$ و چون $m_2 > m_1$ است، m_1 به طرف پایین و m_2 به طرف بالا حرکت می‌کند. در این صورت، شتاب حرکت m_2 در خلاف جهت محور y و m_1 در جهت محور y خواهد بود؛ پس:

$$T - m_1 g = m_1 a_1 \quad (1)$$

$$T - m_2 g = -m_2 a_2 \quad (2)$$



شکل ۲-۸-۱

چون بزرگی جابه‌جایی وزنه‌ها یکسان است:

با جایگزینی مقادیر m_1 و m_2 در رابطه‌های (۱) و (۲) خواهیم داشت:

$$T - \frac{1}{2} \times 10 = \frac{1}{2} a$$

$$T - \frac{1}{2} \times 10 = -\frac{1}{2} 5a$$

با حل این معادله‌ها داریم:

$$a = 2 \text{ m/s}^2 \text{ و } T = 1/2 \text{ N}$$

یک بار آجر ۱۵ کیلوگرمی از یک سر طنابی که از روی قرقه کوچک بی اصطکاک عبور کرده آویزان است. یک پارسنگ ۲۸ کیلوگرمی به گونه‌ای که در شکل ۳۹ نشان داده شده است به سر دیگر طناب آویزان است. دستگاه از حال سکون رها می‌شود.



شکل ۳۹

الف) دو نمودار جسم آزاد یکی برای آجر و دیگری برای پارسنگ رسم کنید.

ب) بزرگی شتاب به طرف بالای آجر چقدر است؟

پ) کشش طناب در حالی که بار آجر حرکت می‌کند چقدر است؟ این کشش در

قیاس با وزن بار آجر چگونه است؟ در قیاس با وزن پارسنگ چگونه است؟

پاسخ: ب) $2/96 \text{ m/s}^2$

پ) 191 N

در شکل ۴۰ کارگری با پایین کشیدن طنابی با نیروی \vec{F} وزنه W را بالا می‌برد. قرقه بالایی با زنجیری به سقف متصل بوده و قرقه پایینی توسط زنجیر دیگری به وزنه متصل است.



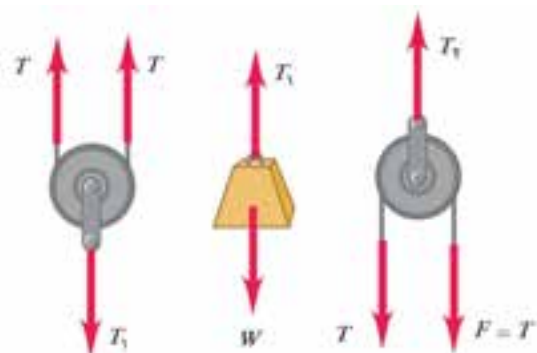
شکل ۴۰

اگر وزنه با سرعت ثابت به بالا کشیده شود، کشش هر زنجیر و بزرگی نیروی \vec{F} را بر حسب W پیدا کنید. نمودار یا نمودارهای جسم آزادی را که برای تعیین پاسخ‌ها به کار برده‌اید اضافه کنید. فرض کنید که وزن طناب، قرقره‌ها و زنجیرها جملگی ناچیزند.

حل: در شکل ۴۱ نمودار جسم آزاد نیروهای وارد بر وزنه و قرقره‌ها نشان داده شده است. چون وزنه با سرعت ثابت حرکت می‌کند، برآیند نیروها در هر وضعیت صفر است.

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 2T \\ T_1 = W \\ T_1 = 2T \end{array} \right\} \Rightarrow W = \frac{T}{2}$$

با توجه به قانون دوم نیوتون داریم:

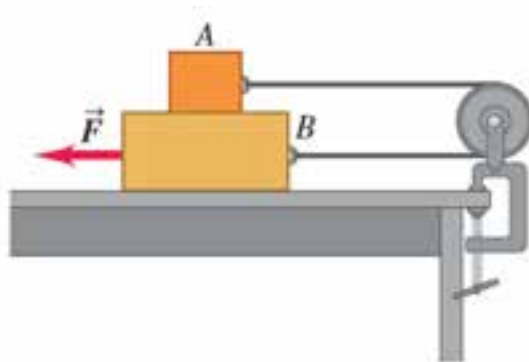


شکل ۴۱

تمرین پیشنهادی

قطعه A در شکل ۴۲ به وزن $1/4 \text{ N}$ و قطعه B به وزن $4/2 \text{ N}$ است. ضربه اصطکاک جنبشی بین همه سطوحها $0/3$ است. اگر A و B توسط ریسمان سبک و انعطاف‌پذیری که از روی قرقره ثابت و بی اصطکاک عبور کرده به هم متصل باشند، بزرگی نیروی افقی \vec{F} را که برای کشیدن قطعه B با سرعت ثابت به طرف چپ لازم است بیابید.

پاسخ: $2/52 \text{ N}$



شکل ۴۲

۳-۲-۳ تکانه (اندازه حرکت)

در واقع از این مثال ساده دانش‌آموزان درک می‌کنند که هرچه لختی جسمی بیشتر باشد به حرکت درآوردن آن یا متوقف نمودن آن دشوارتر است. به همین دلیل است که آثار تخریبی بهمن در مناطق کوهستانی می‌تواند بسیار فاجعه‌بار باشد.

راهنمای تدریس: در کتاب درسی سعی شده است پیش از مطرح کردن مفهوم و تعریف تکانه، مقایسه‌ای بین نیروی لازم برای توقف دو خودرو با سرعت یکسان و جرم متفاوت داشته باشد.

فعالیت ۴-۲

۳-۲-۳ تکانه (اندازه حرکت)

در شکل ۳-۲ یک خودروی سواری و یک کامیون مجاور هم با سرعت یکسان در حرکتند. خودرو و کامیون با نزدیک شدن به چراغ قرمز، باید پس از طی مسافت 50 m متوقف شوند. به نظر شما، نیروی لازم برای متوقف کردن کدام یک از آنها با شتاب ثابت، بیشتر است؟ برای بررسی دقیق‌تر،



شکل ۳-۲

فرض کنید جرم کامیون 10^4 تن و جرم خودروی سواری 1 تن باشد و هر یک با سرعت 40 m/s در حرکت باشند. شتاب حرکت کندشونده برای کامیون و خودروی سواری، در این جابه‌جایی، برابر است با:

$$|a_1| = |a_2| = \left| \frac{v^2 - v_1^2}{2\Delta x} \right| = \frac{40^2 - 0}{2 \times 50} = 160\text{ m/s}^2$$

نیروی لازم برای توقف کامیون برابر است با:

$$F_1 = m_1 a_1 = 10^4 \times 160 = 1.6 \times 10^6\text{ N}$$

و نیروی لازم برای توقف خودروی سواری برابر است با:

$$F_2 = m_2 a_2 = 1 \times 160 = 160\text{ N}$$

نتیجه می‌گیریم که نیروی لازم برای متوقف کردن کامیون بیشتر از نیروی لازم برای متوقف کردن خودروی سواری است.

۴۹

پاسخ: در این فعالیت دانش‌آموزان می‌بینند چنانچه جرم و لختی دو جسم (در این فعالیت خودرو و کامیون) یکسان باشد، سرعت جسم می‌تواند نقشی تعیین کننده در نیروی لازم برای توقف آن ایفا نماید. با توجه به اینکه سرعت کامیون 15 m/s و سرعت خودرو 20 m/s فرض شده است، بزرگی شتاب آنها به ترتیب برابر است با

$$a_1 = 2/25\text{ m/s}^2, a_2 = 4\text{ m/s}^2$$

به این ترتیب نیروی لازم برای توقف کامیون برابر است با

$$F_1 = ma_1 = (1000\text{ kg})(2/25\text{ m/s}^2) = 2250\text{ N}$$

و نیروی لازم برای توقف خودرو برابر است با

$$F_2 = ma_2 = (1000\text{ kg})(4\text{ m/s}^2) = 4000\text{ N}$$

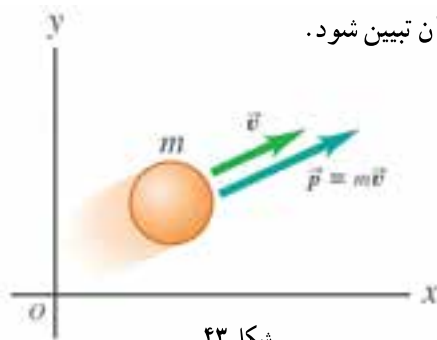
همان‌طور که دیده می‌شود نیروی لازم برای متوقف کردن خودرو به مراتب بیشتر از نیروی لازم برای متوقف کردن کامیون است.

لازم به توضیح است که $\vec{p} = m\vec{v}$ در واقع تکانه خطی ذره نامیده می‌شود. در این کتاب به جهت آنکه تکانه زاویه‌ای ذره معرفی نمی‌شود، صفت خطی را حذف کرده‌ایم و به اختصار از واژه تکانه استفاده می‌کنیم. تکانه ذره را اغلب برحسب مؤلفه‌های آن بیان می‌کنیم. اگر مؤلفه‌های سرعت ذره v_x و v_y باشند، آنگاه مؤلفه‌های تکانه آن p_x و p_y (که آنها را تکانه x و تکانه y نیز می‌نامیم) به قرار زیر داده می‌شوند:

$$p_x = mv_x, \quad p_y = mv_y$$

این دو معادله مؤلفه‌ای با معادله $\vec{p} = m\vec{v}$ معادل‌اند.

پس از بررسی فعالیت به معرفی و تعریف تکانه (اندازه حرکت بردارید). از آنجا که سرعت کمیتی برداری است، تکانه نیز کمیتی برداری و هم جهت با سرعت است. شکل ۴۳ را روی تابلوی کلاس رسم کنید تا این موضوع به خوبی برای دانش‌آموزان تبیین شود.



شکل ۴۳