یکای F نیوتون و یکای x متر باشد. (ح) به‌ازای چه مقدار (متناهی) از x $F(x)=0$ می‌شود؟

بخش ۸-۴ کار انجام شده توسط یک نیروی خارجی روی دستگاه

• ۴۲ کارگری قطعه‌ای به‌جرم ۲۷kg را با نیروی در جهت ۳۲° زیر افق با تندی ثابت به‌اندازه‌ی ۹٫۲m روی سطحی صاف هل می‌دهد. اگر ضریب اصطکاک جنبشی میان قطعه و سطح ۰٫۲۰ باشد، (الف) کار انجام شده توسط نیروی کارگر و (ب) افزایش انرژی گرمایی دستگاه قطعه- سطح چقدر است؟

• ۴۳ یک سگ گله لانه‌اش را با وارد آوردن نیروی افقی ۸٫۰N روی کف زمین می‌کشد. بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر لانه ۵٫۰N است. وقتی لانه به اندازه‌ی ۰٫۷۰m روی زمین کشیده شود (الف) کار انجام شده توسط نیروی وارد از سگ و (ب) افزایش انرژی گرمایی لانه و کف زمین چقدر است؟

•• ۴۴ نیرویی افقی به‌بزرگی ۳۵٫۰N، بر قطعه‌ای به جرم ۴٫۰۰kg روی سطحی که در آنجا ضریب اصطکاک جنبشی ۰٫۶۰۰ است، وارد می‌شود. (الف) وقتی قطعه روی سطح به‌اندازه‌ی ۳٫۰۰m جابه‌جا شود، نیروی وارد شده چقدر کار روی دستگاه قطعه- سطح انجام داده است؟ (ب) در حین این جابه‌جایی، انرژی گرمایی قطعه به اندازه‌ی ۴۰٫۰J افزایش می‌یابد. انرژی گرمایی دستگاه قطعه- سطح چقدر افزایش یافته است؟ (پ) افزایش انرژی جنبشی قطعه چقدر است؟

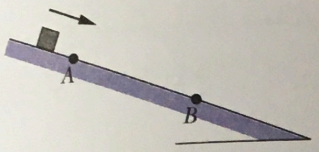
•• ۴۵ از طنابی برای کشیدن قطعه‌ای به جرم ۳٫۵۷kg روی کف زمین استفاده شده است. طناب نیرویی به بزرگی ۷٫۶۸N را در جهت ۱۵٫۰° بالای افق بر قطعه وارد می‌آورد و آن را با تندی ثابت به اندازه‌ی ۴٫۰۶m جابه‌جا می‌کند. (الف) کار انجام شده توسط نیروی طناب، (ب) افزایش انرژی گرمایی دستگاه قطعه ـ کف زمین و (پ) ضریب اصطکاکی جنبشی میان قطعه و کف زمین، چقدر است؟

بخش ۸-۵ پایستگی انرژی

• ۴۶ یک بازیکن بیسبال، توپ را با تندی اولیه‌ی ۸۱٫۸mi/h پرتاب می‌کند. درست پیش از آنکه بازیکن گیرنده، توپ را در همان ارتفاع بگیرد، تندی توپ ۱۱۰ft/s است. انرژی مکانیکی دستگاه توپ – کره زمین برحسب فوت- پاوند، چه مقدار بر اثر پس‌کشی [مقاومت] هوا کاهش یافته است؟ (وزن یک توپ بیسبال ۹٫۰oz است.)

• ۴۷ یک فریزبی[1] به جرم ۷۵kg از نقطه‌ای به ارتفاع ۱٫۱m بالای سطح زمین با تندی ۱۲m/s پرتاب می‌شود. وقتی فریزبی به ارتفاع ۲٫۱m می‌رسد، تندی آن برابر ۱۰٫۵m/s است. کاهش E_{mec} دستگاه فریزبی- کره زمین بر اثر پس‌کشی [مقاومت] هوا چقدر است؟

• ۴۸ در شکل ۸-۵۱، قطعه‌ای بر روی یک سطح شیبدار روبه پایین می‌لغزد. وقتی قطعه از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B می‌رسد، که به فاصله‌ی ۵٫۰m از آن قرار دارد، نیروی $\vec{F}$ به بزرگی ۲٫۰N که جهتش آن رو به پایین شیب است بر قطعه وارد می‌شود. بزرگی نیروی اصطکاک وارد بر قطعه ۱۰N است. اگر انرژی جنبشی قطعه در فاصله‌ی میان A تا B به اندازه‌ی ۳۵J افزایش یابد، در حین حرکت قطعه از A به B نیروی گرانشی چقدر کار روی قطعه انجام می‌دهد؟



شکل ۸-۵۱ مسئله‌های ۴۸ و ۷۱

• ۴۹ ILW خرسی به جرم ۲۵kg، از حالت سکون به اندازه‌ی ۱۲m بر درخت کاجی رو به پایین سُر می‌خورد و تندی آن درست پیش از برخورد با سطح زمین ۵٫۶m/s است. (الف) در حین سُر خوردن، تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه خرس- کره زمین چقدر است؟ (ب) انرژی جنبشی خرس درست پیش از برخورد با سطح زمین چقدر است؟ (پ) نیروی اصطکاک متوسطی که در حین سُر خوردن بر خرس وارد می‌شود چقدر است؟

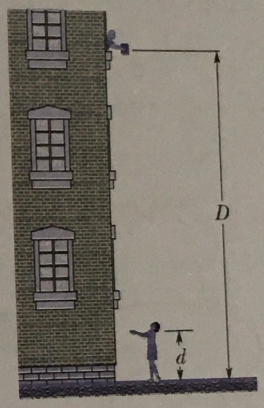
• ۵۰ اسکی‌بازی به جرم ۶۰kg انتهای شیبراهه‌ی پرش را با سرعت ۲۴m/s در جهت ۲۵° بالای افق ترک می‌کند. فرض کنید بر اثر نیروی پس‌کشی هوا، اسکی‌باز با تندی ۲۲m/s به سطح زمین بازگردد، که به‌طور عمودی ۱۴m زیر انتهای شیبراهه قرار دارد. از لحظه‌ی جدا شدن از انتهای شیبراهه تا بازگشت به سطح زمین، انرژی مکانیکی دستگاه اسکی‌باز- کره زمین تحت تأثیر نیروی پس‌کشی هوا، به چه میزانی کاهش می‌یابد؟

• ۵۱ در حین ریزش کوه، تخته‌سنگی به جرم ۵۲۰kg از دامنه‌ی کوهی به طول ۵۰۰m و ارتفاع ۳۰۰m، از حال سکون به پایین می‌لغزد. ضریب اصطکاک جنبشی میان تخته‌سنگ و دامنه‌ی کوه برابر ۰٫۲۵ است. (الف) اگر انرژی پتانسیل گرانشی U دستگاه تخته‌سنگ- کره زمین در پایین کوه برابر صفر باشد، مقدار U دست پیش از لغزیدن تخته‌سنگ چقدر است؟ (ب) در حین لغزیدن تخته‌سنگ، چقدر انرژی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود؟ (پ) انرژی جنبشی تخته‌سنگ در لحظه‌ی رسیدن به پایین کوه چقدر است؟ (ت) در آن موقع تندی تخته‌سنگ چقدر است؟

•• ۵۲ یک نان شیرمال که روی سطحی افقی می‌لغزد، به یک سر فنری افقی با ثابت فنر $k=400\text{N/m}$ متصل شده است؛ سر دیگر

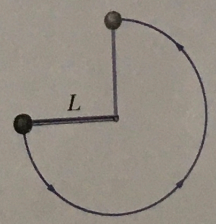
[1] Frisbee یک نوع بشقاب پلاستیکی (مترجم.)

۳۰ کتابی به‌جرم $2{,}00\,kg$ را به سمت دوست خود که روی زمین ایستاده است از فاصله‌ی $D = 10{,}0\,m$ بالای سطح زمین رها می‌کنند. اگر دوست شما دست‌هایش را تا ارتفاع $d = 1{,}50\,m$ بالای سطح زمین کشیده باشد (شکل ۸-۳۰)، (الف) در فاصله‌ی رها شدن کتاب تا رسیدن آن به دست‌های دوست شما چقدر کار W_g توسط نیروی گرانشی روی کتاب انجام می‌شود؟ (ب) تغییر ΔUی انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه کتاب- کره زمین در حین سقوط کتاب چقدر است؟ اگر انرژی پتانسیل گرانشی Uی این دستگاه در سطح زمین صفر درنظر گرفته شود، (پ) هنگامی که کتاب رها می‌شود و (ت) هنگامی که به دست‌های دوستتان می‌رسد، U چقدر است؟ حال U را در سطح زمین برابر $100\,J$ درنظر بگیرید و دوباره (ث) W_g، (ج) ΔU، (چ) U در نقطه‌ی رها شدن، و (ح) U را در محلّ دست‌های دوستتان به‌دست آورید.



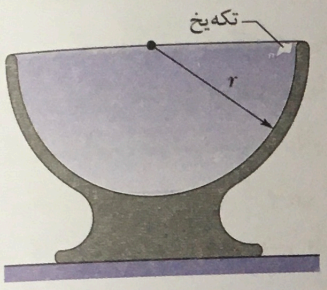
شکل ۸-۳۰ مسئله‌های ۳ و ۱۰

۴۰ شکل ۸-۳۱ گلوله‌ای به‌جرم $0{,}341\,kg$ را نشان می‌دهد که به انتهای میله‌ی نازکی به‌طول $L = 0{,}452\,m$ و جرم ناچیز متصل شده است. انتهای دیگر میله طوری لولا شده است که گلوله می‌تواند در یک دایره‌ی قائم حرکت کند. میله مطابق شکل به‌طور افقی نگه داشته می‌شود و آنگاه به آن نیروی رو به پایین مناسبی وارد می‌آید تا گلوله رو به پایین تاب بخورد و پس از چرخشی، دقیقاً به موضع قائمی برسد که در آنجا تندی‌اش صفر است. چقدر کار توسط نیروی گرانشی روی گلوله از نقطه‌ی ابتدایی تا (الف) پایین‌ترین نقطه، (ب) بالاترین نقطه و (پ) نقطه‌ای در سمت راست که هم‌تراز نقطه‌ی ابتدایی است، انجام شده است؟ اگر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه گلوله- کره زمین در نقطه‌ی ابتدایی صفر درنظر گرفته شود، مقدار آن وقتی گلوله به (ت) پایین‌ترین نقطه، (ث) بالاترین نقطه و (ج) نقطه‌ای در سمت راست برسد که هم‌تراز نقطه‌ی ابتدایی است، چقدر می‌شود؟ (چ) حال فرض کنید میله با نیروی بیشتری هل داده شود، طوری که گلوله از بالاترین نقطه با تندی غیرصفر عبور کند. آیا در این صورت W_g در پایین‌ترین نقطه تا بالاترین نقطه، بیشتر از مقداری می‌شود که در حالت توقف در بالاترین نقطه داشت، یا کمتر از آن و یا برابر همان مقدار باقی می‌ماند؟



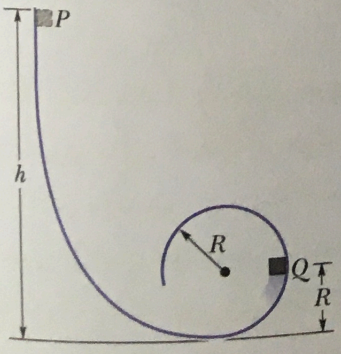
شکل ۸-۳۱ مسئله‌های ۴ و ۱۴

۵۰ در شکل ۸-۳۲ تکه‌یخ کوچکی به جرم $2{,}00\,g$ از لبه‌ی یک کاسه‌ی نیم‌کروی به‌شعاع r برابر با $22{,}0\,cm$ رها شده است. (الف) در حین پایین آمدن یخ تا ته کاسه چقدر کار روی تکه‌یخ توسط نیروی گرانشی انجام شده است؟ (ب) در حین این پایین آمدن، انرژی پتانسیل دستگاه تکه‌یخ- کره زمین چقدر تغییر می‌کند؟ (پ) اگر انرژی پتانسیل در ته کاسه برابر صفر درنظر گرفته شود، مقدار آن وقتی تکه‌یخ به ته کاسه می‌رسد چقدر است؟ (ث) اگر جرم تکه‌یخ دو برابر شود، آیا مقدار پاسخ‌های (الف) تا (ت) افزایش می‌یابند یا کاهش، یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟



شکل ۸-۳۲ مسئله‌های ۵ و ۱۱

۶●● در شکل ۸-۳۳ قطعه‌ی کوچکی به جرم $m = 0{,}032\,kg$ می‌تواند بر مسیر حلقوی بدون اصطکاکی که شعاع حلقوی آن $R = 12\,cm$ است، بلغزد. قطعه از حالت سکون در نقطه‌ی P به ارتفاع $h = 5{,}0R$ بالای کف حلقه، رها می‌شود. به‌هنگام حرکت قطعه از نقطه‌ی P تا (الف) نقطه‌ی Q و (ب) بالاترین نقطه‌ی حلقه، نیروی گرانشی چقدر کار روی قطعه انجام می‌دهد؟ اگر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه قطعه- کره زمین در کف حلقه برابر با صفر در نظر گرفته شود، انرژی پتانسیل آن در (پ) نقطه‌ی P، (ت) نقطه‌ی Q و (ث) بالاترین نقطه‌ی حلقه چقدر است؟ (ج) حال اگر قطعه را به‌جای رها کردن، با تندی اولیه‌ی رو به پایینی بر روی مسیر بلغزانیم، آیا پاسخ‌های (الف) تا (ث) افزایش می‌یابند یا کاهش، یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟



شکل ۸-۳۳ مسئله‌های ۶ و ۱۷

۱۱۹ گلوله‌ای به جرم ۵۰g با سرعت اولیه‌ی ۸٫۰m/s در جهت ۳۰° بالای افق از پنجره‌ای پرتاب شده است. با استفاده از روش‌های انرژی (الف) انرژی جنبشی گلوله را در نقطه‌ی اوج پرواز و (ب) تندی گلوله را وقتی ۳٫۰m پایین‌تر از پنجره است، پیدا کنید. آیا پاسخ قسمت (ب) به (پ) جرم گلوله یا (ت) جهت اولیه بستگی دارد؟

۱۲۰ فنری با ثابت فنر ۳۲۰۰N/m در ابتدا چنان کشیده شده است که دارای انرژی پتانسیل کشسانی ۱٫۴۴J است. (برای فنر واهلیده $U=0$ است.) اگر کشیدگی اولیه تغییر کند و به (الف) کشیدگی ۲٫۰cm، (ب) فشردگی ۲٫۰cm و (پ) فشردگی ۴٫۰cm برسد، تغییر انرژی پتانسیل کشسانی ΔU چقدر می‌شود؟

۱۲۱ لوکوموتیوی با توان ۱٫۵MW می‌تواند به قطاری شتاب دهد و تندی آن را در مدت ۶٫۰min از ۱۰m/s به ۲۵m/s برساند. (الف) جرم قطار را محاسبه کنید. (ب) تندی قطار و (پ) نیرویی را که به قطار در مدت ۶٫۰min شتاب می‌دهد، برحسب تابعی از زمان (به ثانیه) به‌دست آورید. (ت) مسافتی را که قطار در این بازه‌ی زمانی طی کرده است، پیدا کنید.

۱۲۲ در بازی *شافل بورد*، قرص بازی به جرم ۰٫۴۲kg در ابتدا ساکن است. بازیکنی با استفاده از چوب بازی، تندی آن را با شتاب ثابتی به ۴٫۲m/s افزایش می‌دهد. این شتاب در طی جابه‌جایی ۲٫۰m ایجاد و در انتهای آن، تماس چوب با قرص قطع می‌شود. سپس قرص پیش از توقف، ۱۲m دیگر می‌لغزد. فرض کنید میدان بازی مسطح باشد و نیروی اصطکاک ثابتی بر قرص وارد شود. افزایش انرژی گرمایی دستگاه قرص- میدان بازی (الف) برای آن ۱۲m اضافی و (ب) برای کلّ مسافت ۱۴m چقدر است؟ (پ) چوب چقدر کار روی قرص انجام می‌دهد؟

۱۲۳ رودخانه‌ای ۱۵m در یک شیب تند سقوط می‌کند. تندی آب در لحظه‌ی ورود به شیب برابر ۳٫۲m/s و در لحظه‌ی خروج از آن ۱۳m/s است. در حین سقوط، چه درصدی از انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه آب- کره زمین به انرژی جنبشی منتقل شده است؟ (*راهنمایی:* مثلاً سقوط ۱۰kg آب را درنظر بگیرید.)

۱۲۴ بزرگی نیروی گرانشی میان دو ذره، یکی به جرم m_1 و دیگری به جرم m_2 چنین داده می‌شود

$$F(x)=G\frac{m_1 m_2}{x^2}$$

که در آن G مقداری ثابت و x فاصله‌ی میان دو ذره است. (الف) تابع انرژی پتانسیل $U(x)$ متناظر با این نیرو را به دست آورید. فرض کنید برای x مثبت، وقتی $x\to\infty$ آنگاه $U(x)\to 0$. (ب) برای افزایش فاصله‌ی دو ذره از $x=x_1$ به $x=x_1+d$ باید چقدر کار انجام شود؟

۱۲۵ به طور تقریبی در هر ثانیه 5.5×10^6 kg آب از بالای آبشار نیاگارا به اندازه‌ی ۵۰m سقوط می‌کند. (الف) کاهش انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه آب- کره زمین در هر ثانیه چقدر است؟ (ب) اگر تمام این انرژی می‌توانست به انرژی الکتریکی تبدیل شود (البته چنین چیزی ممکن نیست)، انرژی الکتریکی با چه آهنگی تولید می‌شد؟ (جرم $1\ m^3$ آب برابر با ۱۰۰۰kg است.) (پ) اگر این انرژی به قیمت ۱cent/kW فروخته می‌شد، درآمد سالیانه‌ی حاصل از فروش آن چقدر می‌شد؟

۱۲۶ برای ساختن یک آونگ، گلوله‌ای به جرم ۳۰۰g به انتهای ریسمانی به طول ۱٫۴m که جرم آن قابل چشم‌پوشی است، متصل شده است (سر دیگر ریسمان در جایی محکم شده است). گلوله به اندازه‌ی ۳۰٫۰° نسبت به امتداد قائم به یک طرف کشیده شده و سپس (بی‌آنکه ریسمان خم شود) از حالت سکون رها می‌شود. (الف) تندی گلوله وقتی ریسمان با راستای قائم زاویه‌ی ۲۰٫۰° می‌سازد و (ب) تندی بیشینه‌ی گلوله را به دست آورید. (پ) وقتی تندی گلوله برابر $\frac{1}{3}$ مقدار بیشینه‌ی خود است، طناب چه زاویه‌ای با امتداد قائم می‌سازد؟

۱۲۷ در یک نمایش سیرک، دلقکی به جرم ۶۰kg از لوله‌ی توپی با سرعت اولیه‌ی ۱۶m/s تحت زاویه‌ی نامشخصی نسبت به افق شلیک می‌شود. اندکی بعد، دلقک روی یک تور به فاصله‌ی قائم ۳٫۹m بالای مکان اولیه‌ی خود فرود می‌آید. وقتی دلقک روی تور فرود می‌آید، انرژی جنبشی او چقدر است؟ از پس‌کشی [مقاومت] هوا چشم‌پوشی کنید.

۱۲۸ مأمور آتش‌نشانی به جرم ۷۰kg از بالای تیر قائمی به ارتفاع ۴٫۳m به پایین سُر می‌خورد. (الف) اگر آتش‌نشان تیر را محکم بغل نکند، به‌طوری که نیروی اصطکاکی که از تیر بر او وارد می‌شود ناچیز باشد، تندی او درست پیش از رسیدن به کف زمین چقدر است؟ (ب) اگر آتش‌نشان تیر را محکم‌تر بغل کند، به‌طوری که نیروی اصطکاک متوسطی که تیر رو به بالا بر او وارد می‌کند برابر با ۵۰۰N باشد، تندی او درست پیش از رسیدن به سطح زمین چقدر است؟

۱۲۹ مساحت کشور ایالات متحده‌ی آمریکا حدود $8\times10^6\ km^2$ و ارتفاع متوسط آن حدود ۵۰۰m (بالای سطح دریا) است. متوسط بارش سالیانه در ایالات متحده ۷۵cm است. $\frac{2}{3}$ این باران بر اثر تبخیر انرژی به جو بازمی‌گردد؛ بقیه‌ی آن سرانجام به اقیانوس می‌ریزد. اگر کاهش پتانسیل گرانشی دستگاه آب- کره زمین وابسته به این ریزش بتواند به طور کامل به انرژی الکتریکی تبدیل شود، توان متوسط این تبدیل چقدر خواهد بود؟ (جرم $1\ m^3$ آب برابر ۱۰۰۰kg است.)

۱۰۷ تنها نیروی وارد بر یک ذره، نیروی پایستار $\vec{F}$ است. اگر ذره در نقطه‌ی A باشد، انرژی پتانسیل دستگاه وابسته به نیروی $\vec{F}$ برابر با ۴۰J است. اگر ذره از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B برود، کاری که نیروی $\vec{F}$ روی ذره انجام می‌دهد برابر با ۲۵J+ است. وقتی ذره در نقطه‌ی B است، انرژی پتانسیل دستگاه چقدر است؟

۱۰۸ در سال ۱۹۸۱ میلادی، *دانیل گودوین*[1] با استفاده از چند مکنده و گیره‌های فلزی از دیواره‌ی خارجی ساختمانی به بلندی ۴۴۳m در شیکاگو بالا رفت. (الف) جرم او را با عددی تخمین بزنید و آنگاه محاسبه کنید که او چه مقدار انرژی بیومکانیکی (داخلی) را به انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه کره زمین - گودوین منتقل کرده است تا خود را تا آن ارتفاع بالا ببرد. (ب) اگر او، به جای این کار، با استفاده از پله‌های داخل ساختمان تا همین ارتفاع بالا می‌رفت، آنگاه باید چقدر انرژی را منتقل می‌کرد؟

۱۰۹ بازیگر سیرکی به جرم ۶۰٫۰kg از بالای تیری به بلندی ۴٫۰۰m، با شروع از حالت سکون رو به پایین تا کف صحنه‌ی نمایش سُر می‌خورد. انرژی جنبشی بازیگر وقتی به کف صحنه می‌رسد، در صورتی که نیروی اصطکاک وارد از میله بر بازیگر (الف) ناچیز باشد (که در آن صورت آسیب خواهد دید) و (ب) دارای بزرگی ۵۰۰N باشد، چقدر است؟

۱۱۰ قطعه‌ای به جرم ۵٫۰kg با تندی ۵٫۰m/s به بالای سطح شیبداری که با افق زاویه‌ی ۳۰° می‌سازد، پرتاب شده است. اگر (الف) این سطح بدون اصطکاک باشد و اگر (ب) ضریب اصطکاک جنبشی میان قطعه و سطح ۰٫۴۰ باشد، قطعه تا چه مسافتی روی سطح شیبدار بالا می‌رود؟ (پ) در قسمت (ب) افزایش انرژی گرمایی قطعه و سطح در حین بالا رفتن قطعه چقدر است؟ (ت) اگر آنگاه قطعه بر این شیب رو به پایین بلغزد، تندی آن وقتی به نقطه‌ی پرتاب اولیه می‌رسد چقدر است؟

۱۱۱ پرتابه‌ای به جرم ۹٫۴۰kg به‌طور قائم رو به بالا شلیک شده است. در حین بالا رفتن پرتابه، نیروی پس‌کشی [مقاومت] هوا انرژی مکانیکی دستگاه پرتابه- کره زمین را به اندازه‌ی ۶۸٫۰kJ کاهش می‌دهد. اگر نیروی پس‌کشی [مقاومت] هوا ناچیز باشد، پرتابه چقدر بالاتر می‌رود؟

۱۱۲ مردی به جرم ۷۰٫۰kg از پنجره‌ای بیرون می‌پرد و روی یک تور نجات آتش‌نشانی که ۱۱٫۰m پایین‌تر از پنجره است، فرود می‌آید. وقتی تور نجات به اندازه‌ی ۱٫۵۰m کش بیاید، مرد به طور لحظه‌ای متوقف می‌شود. با فرض آنکه انرژی مکانیکی در حین این فرآیند پایسته بماند و تور نجات مانند یک فنر آرمانی عمل کند، انرژی پتانسیل کشسانی را وقتی تور به اندازه‌ی ۱٫۵۰m کشیده شده است، پیدا کنید.

۱۱۳ گلوله‌ای به جرم ۳۰g با سرعت افقی ۵۰۰m/s پس از طی مسافت ۱۲cm در داخل دیواری صلب، متوقف می‌شود. (الف) تغییر انرژی مکانیکی گلوله چقدر است؟ (ب) بزرگی نیروی متوسط وارد از دیوار که گلوله را متوقف می‌کند چقدر است؟

۱۱۴ اتومبیلی به جرم ۱۵۰۰kg روی یک جاده‌ی افقی از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند و در مدت ۳۰s به تندی ۷۲km/h می‌رسد. (الف) انرژی جنبشی اتومبیل در پایان این ۳۰s چقدر است؟ (ب) توان متوسط موردنیاز اتومبیل در حین این بازه‌ی ۳۰ ثانیه‌ای چقدر است؟ (پ) توان لحظه‌ای اتومبیل در پایان این بازه‌ی ۳۰ ثانیه‌ای، با فرض آنکه شتاب ثابت باشد، چقدر است؟

۱۱۵ گلوله‌ی برفی به جرم ۱٫۵۰kg در جهت ۳۴٫۰° نسبت به افق با تندی اولیه‌ی ۲۰٫۰m/s، رو به بالا پرتاب شده است. (الف) انرژی جنبشی اولیه‌ی آن چقدر است؟ (ب) وقتی گلوله‌ی برف از نقطه‌ی پرتاب به نقطه‌ای می‌رسد که در آنجا ارتفاعش بیشینه است، انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه گلوله‌ی برف - کره زمین چقدر تغییر می‌کند؟ (پ) این ارتفاع بیشینه چقدر است؟

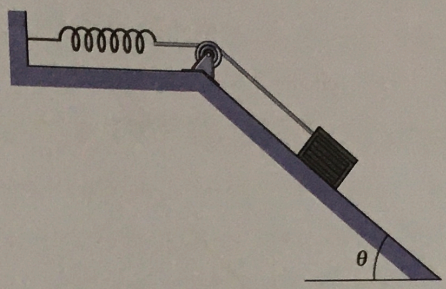
۱۱۶ یک شیرجه‌روی هوایی به جرم ۶۸kg با تندی حدّ ثابت ۵۹m/s سقوط می‌کند. (الف) انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه کره‌زمین - شیرجه‌رو با چه آهنگی کاهش پیدا می‌کند؟ (ب) انرژی مکانیکی این دستگاه با چه آهنگی کاهش می‌یابد؟

۱۱۷ قطعه‌ای به جرم ۲۰kg روی سطحی افقی به یک فنر افقی با ثابت فنر $k = ۴٫۰\text{kN/m}$ متصل شده است. قطعه طوری به سمت راست کشیده می‌شود که فنر تا ۱۰cm بیش از طول واهلیده‌اش کش بیاید و سپس قطعه از حالت سکون رها می‌شود. بزرگی نیروی اصطکاک میان قطعه‌ی در حال لغزش و سطح برابر با ۸۰N است. (الف) انرژی جنبشی قطعه وقتی به اندازه‌ی ۲٫۰cm از نقطه‌ی رها شدن حرکت کرده است، چقدر است؟ (ب) انرژی جنبشی قطعه وقتی برای نخستین بار از نقطه‌ی واهلیدگی فنر می‌گذرد چقدر است؟ (پ) انرژی جنبشی بیشینه‌ای که قطعه در حین لغزش از نقطه‌ی رها شدن تا نقطه‌ی واهلیدگی فنر به آن برسد، چقدر است؟

۱۱۸ مقاومت در برابر حرکت یک اتومبیل مشتمل از دو جمله است: اصطکاک جاده، که تقریباً مستقل از تندی است و پس‌کشی هوا، که متناسب با توان دوم تندی است. برای اتومبیلی معین به وزن ۱۲۰۰۰N، نیروی مقاومت کل F با $F = ۳۰۰ + ۱٫۸v^۲$ داده می‌شود که در آن F برحسب نیوتون و v برحسب متر بر ثانیه است. توان (برحسب اسب بخار) موردنیاز را برای اینکه وقتی تندی اتومبیل ۸۰km/h است شتاب آن ۰٫۹۲m/s² باشد، محاسبه کنید.

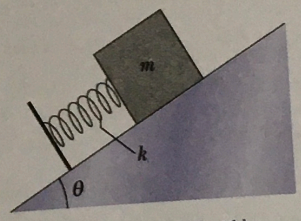
[1] Daniel Goodwin

شده است. وقتی فنر هنوز کشیده نشده است، جعبه از حالت سکون رها می‌شود. فرض کنید قرقره بدون جرم و بدون اصطکاک است. (الف) وقتی جعبه ۱۰cm رو به پایین شیب حرکت کرده است، تندی آن چقدر است؟ (پ) بزرگی و (ت) جهت (رو به بالا یا رو به پایین شیب) شتاب جعبه در لحظه‌ای که جعبه به توقف لحظه‌ای می‌رسد چیست؟



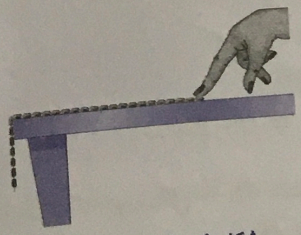
شکل ۸-۴۳ مسئله‌ی ۳۰

●●۳۱ ILW قطعه‌ای به جرم $m = ۲٫۰۰\text{kg}$، درست بالای فنری روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی با زاویه‌ی شیب $\theta = ۳۰٫۰^\circ$ قرار دارد (شکل ۸-۴۴). (قطعه به فنر متصل نشده است.) فنر، با ثابت فنر $k = ۱۹٫۶\text{N/m}$، به‌اندازه‌ی ۲۰٫۰cm فشرده و سپس رها می‌شود. (الف) انرژی پتانسیل کشسانی فنر فشرده شده چقدر است؟ (ب) تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه قطعه – کره زمین، وقتی قطعه از نقطه‌ی رها شدن به بالاترین نقطه‌اش روی شیب می‌رسد، چقدر است؟ (پ) فاصله‌ی این بالاترین نقطه از نقطه‌ی رها شدن روی سطح شیبدار چقدر است؟



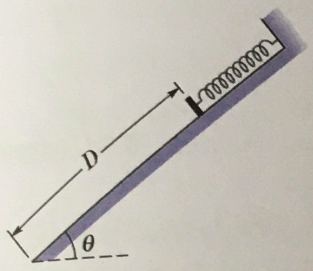
شکل ۸-۴۴ مسئله‌ی ۳۱

●●۳۲ در شکل ۸-۴۵، زنجیری روی میز بدون اصطکاکی طوری نگه داشته شده است که یک- چهارم طول آن از لبه‌ی میز آویزان است. اگر طول زنجیر $L = ۲۸\text{cm}$ و جرم آن $m = ۰٫۱۲\text{kg}$ باشد، چقدر کار لازم است تا آن بخش آویخته بر روی میز کشیده شود؟



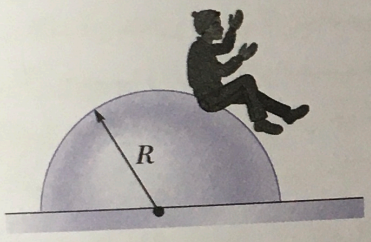
شکل ۸-۴۵ مسئله‌ی ۳۲

●●●۳۳ GO در شکل ۸-۴۶، فنری با ثابت فنر $k = ۱۷۰\text{N/m}$ در بالای شیب بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $\theta = ۳۷٫۰^\circ$ قرار دارد. انتهای پایین شیب از سر آزاد فنر که در طول واهلیده‌ی خود قرار دارد، به فاصله‌ی $D = ۱٫۰۰\text{m}$ است. فنر توسط قوطی‌ای به جرم $۲٫۰۰\text{kg}$ به اندازه‌ی $۰٫۲۰۰\text{m}$ فشرده شده و سپس از حالت سکون رها می‌شود. (الف) تندی قوطی در لحظه‌ای که فنر دوباره به طول واهلیده‌ی خود می‌رسد (که این، همان زمانی است که تماس قوطی با فنر قطع می‌شود) چقدر است؟ (ب) تندی قوطی، وقتی به پایین شیب می‌رسد چقدر است؟



شکل ۸-۴۶ مسئله‌ی ۳۳

●●●۳۴ GO پسربچه‌ای در ابتدا بالای یک تپه‌ی یخی نیم‌کروی به شعاع $R = ۱۳٫۸\text{m}$ نشسته است. او با تندی اولیه‌ی ناچیزی شروع به سر خوردن می‌کند (شکل ۸-۴۷). یخ را بدون اصطکاک فرض کنید. پسربچه در چه ارتفاعی از یخ جدا می‌شود؟



شکل ۸-۴۷ مسئله‌ی ۳۴

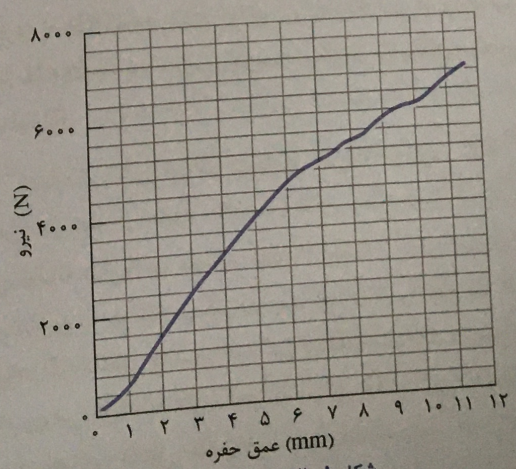
●●●۳۵ GO در شکل ۸-۴۲، قطعه‌ای به‌جرم $m = ۳٫۲۰\text{kg}$ که روی شیب بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $\theta = ۳۰٫۰^\circ$ قرار دارد از حالت سکون شروع به لغزیدن می‌کند و پس از طی مسافت d با فنری با ثابت ۴۳۱N/m برخورد می‌کند. وقتی قطعه به‌طور لحظه‌ای متوقف شود، فنر را به‌اندازه‌ی ۲۱٫۰cm فشرده کرده است. (الف) مسافت d و (ب) فاصله‌ی میان اولین نقطه‌ی تماس قطعه – فنر و نقطه‌ای که در آنجا قطعه بیشترین تندی را دارد، چقدر است؟

●●●۳۶ GO دو پسربچه در حال انجام بازی‌ای هستند که در آن سعی می‌کنند با تیله‌هایی که از یک تفنگ فنری واقع بر یک میز شلیک می‌شوند، جعبه‌ی کوچکی را در کف اتاق هدف قرار دهند. جعبه‌ی هدف در فاصله‌ی افقی $D = ۲٫۲۰\text{m}$ از لبه‌ی میز قرار دارد؛ شکل ۸-۴۸ را ببینید. یکی از بچه‌ها فنر را به‌اندازه‌ی ۱٫۱۰cm فشرده می‌کند، ولی مرکز تیله ۲۷٫۰cm عقب‌تر از مرکز جعبه به زمین می‌افتد. دیگری باید چقدر فنر را فشرده کند تا تیله درست به هدف بخورد؟

۱۳۰ فنری با ثابت فنر $k = ۲۰۰\,N/m$ از سقفی به طور قائم آویزان شده است، طوری که انتهای پایینی آن در مکان $y = ۰$ قرار دارد. قطعه‌ای به وزن ۲۰N به انتهای پایینی فنر متصل می‌شود و پس از اینکه برای لحظه‌ای ثابت نگه داشته می‌شود، از حالت سکون رها می‌گردد. وقتی قطعه در $y = -۵۰\,cm$ است (الف) انرژی جنبشی K، (ب) تغییر از (مقدار اولیه) انرژی پتانسیل گرانشی ΔU_g و (پ) تغییر انرژی پتانسیل کشسانی ΔU_e دستگاه فنر – قطعه چقدر است؟ وقتی قطعه در $y = -۱۰\,cm$ است (ت) K، (ث) ΔU_g و (ج) ΔU_e چقدر است؟ وقتی قطعه در $y = -۱۵\,cm$ است (چ) K، (ح) ΔU_g و (خ) ΔU_e چقدر است؟ وقتی قطعه در $y = -۲۰\,cm$ است (د) K، (ذ) ΔU_g و (ر) ΔU_e چقدر است؟

۱۳۱ یک سر فنر قائمی به سقف بسته شده است و به سر دیگر آن یک کلم متصل است. کلم را به‌آهستگی تا زمانی پایین می‌آوریم که نیروی رو به بالایی که فنر بر کلم وارد می‌آورد با نیروی گرانشی وارد بر آن برابر شود. نشان دهید انرژی پتانسیل گرانشی‌ای که دستگاه کلم- کره زمین از دست می‌دهد، دو برابر انرژی پتانسیلی است که فنر به‌دست می‌آورد.

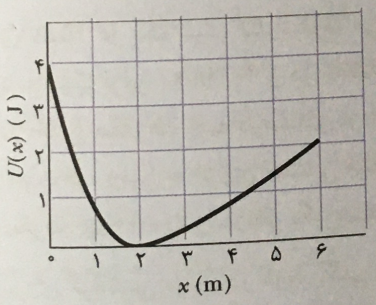
۱۳۲ بیشینه‌ی نیرویی که با آن می‌توانید یک شیء را با یکی از دندان‌های آسیای خود بفشارید در حدود ۷۵۰N است. فرض کنید وقتی شما نوعی سقّز[1] را با دندان‌هایتان فشار می‌دهید، سقّز مثل فنری با ثابت $۲٫۵\times۱۰^۵\,N/m$ مقاومت کند. مطلوب است (الف) مسافتی که سقّز توسط دندان‌های شما فشرده می‌شود و (ب) کاری که توسط دندان‌های شما در حین فشردن انجام می‌پذیرد. (پ) بزرگی نیروی وارد بر سقّز را برحسب مسافت فشردگی رسم کنید. (ت) اگر انرژی پتانسیلی وابسته به این فشردگی وجود داشته باشد، آن را برحسب مسافت فشردگی رسم کنید.



شکل ۸-۷۱ مسئله‌ی ۱۳۲

در سال ۱۹۹۰ میلادی، اسکلت نوعی دایناسور موسوم *ترایسراتاپس*[2] کشف شد که روی آن علائم گازگرفتگی دیده می‌شد. شکل گازگرفتگی به‌گونه‌ای است که حدس زده شد توسط نوعی دایناسور موسوم به *تیرانوساروس رکس*[3] ایجاد شده است. برای بررسی این موضوع، پژوهشگران نمونه‌ای از دندان‌های دایناسور *تی.رکس* را از برنز و آلومینیوم ساختند و سپس با استفاده از یک دستگاه فشار هیدرولیکی این دندان‌های مصنوعی را برای ایجاد حفره‌ای به همان اندازه‌ای که روی لگن دایناسور *ترایسراتاپس* دیده شده بود، به‌تدریج روی استخوان گاوی فشردند. نموداری از نیروی لازم برای نفوذ دندان برحسب عمق نفوذ در شکل ۸-۷۱ برای یک آزمایش رسم شده است؛ نیروی موردنیاز با افزایش عمق حفره افزایش یافته است، زیرا وقتی دندان‌های مخروطی استخوان را سوراخ کنند، تماس دندان‌ها با استخوان بیش‌تر می‌شود. (ث) در چنین مقدار نفوذی، چه مقدار کار توسط دستگاه فشار هیدرولیکی- و احتمالاً توسط دایناسور *تی.رکس* انجام شده است؟ (ج) آیا انرژی پتانسیلی وابسته به این نفوذ وجود دارد؟ (بزرگ بودن نیروی گاز گرفتگی و مقدار انرژی صرف شده توسط دایناسور *تی.رکس* در این پژوهش حاکی از آن است که دایناسور *تی.رکس* حیوانی درنده بوده است و نه لاشخور.)

۱۳۳ نیروی پایستار $F(x)$ روی ذره‌ای که در راستای محور x حرکت می‌کند وارد می‌شود. شکل ۸-۷۲ نشان می‌دهد که چگونه انرژی پتانسیل $U(x)$ وابسته به نیروی $F(x)$ با مکان ذره تغییر می‌کند. (الف) $F(x)$ را در گستره‌ی $۰ < x < ۶\,m$ رسم کنید. (ب) انرژی مکانیکی Eی دستگاه برابر $۴٫۰\,J$ است. انرژی جنبشی $K(x)$ی ذره را مستقیماً روی شکل ۸-۷۲ رسم کنید.



شکل ۸-۷۲ مسئله‌ی ۱۳۳

۱۳۴ شکل ۸-۷۳ الف مولکولی را نشان می‌دهد که شامل دو اتم به جرم‌های m و M (با $m < M$) و فاصله‌ی جدایی r است. شکل ۸-۷۳ ب انرژی پتانسیل $U(r)$ مولکول را برحسب تابعی از r نشان می‌دهد. (الف) اگر انرژی مکانیکی کل E دستگاه دو اتمی بزرگتر از صفر (مانند $E_۱$) و (ب) اگر کوچکتر از صفر (مانند $E_۲$) باشد، حرکت اتم‌ها را توصیف کنید. به‌ازای $E_۱ = ۱\times۱۰^{-۱۹}\,J$ و

[1] Licorice [2] Triceratops [3] Tyrannosaurus rex (T.rex)

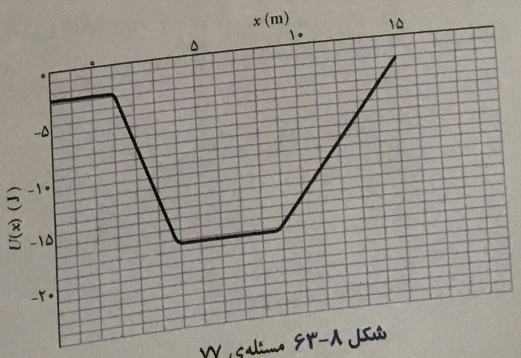
۷۵ برای ساختن آونگی، گلوله‌ای به جرم ۰٫۰۹۲kg به سر میله‌ای به طول ۰٫۶۲m و جرم ناچیز متصل شده است و سر دیگر میله در نقطه‌ای لولا شده است. میله را تا وضعیتی که به طور قائم رو به بالا قرار گیرد، می‌چرخانیم و سپس از حالت سکون رها می‌کنیم تا حول محل لولا رو به پایین تاب بخورد. وقتی گلوله به پایین‌ترین نقطه می‌رسد (الف) تندی آن و (ب) کشش میله چقدر است؟ سپس میله را تا وضعیت افقی می‌چرخانیم و دوباره از حالت سکون رها می‌کنیم. (پ) در چه زاویه‌ای نسبت به امتداد قائم، کشش میله برابر با وزن گلوله است؟ (ت) اگر جرم گلوله را افزایش دهیم، آیا پاسخ قسمت (پ) افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟

۷۶ با اعمال یک نیروی خارجی، ذره‌ای را در راستای محور x نخست رو به بیرون از $x=1{,}0\,m$ تا $x=4{,}0\,m$ می‌بریم و سپس رو به داخل به $x=1{,}0\,m$ بازمی‌گردانیم. جهت نیرو در راستای محور x است و مؤلفه‌ی x آن می‌تواند مقادیر مختلفی برای حرکت در مسیر رفت و حرکت در مسیر برگشت داشته باشد. در جدول زیر، این مقادیر (برحسب نیوتون) برای چهار وضعیت داده شده است، که در آن‌ها x برحسب متر است.

	رو به بیرون	رو به داخل
(الف)	$+3{,}0$	$-3{,}0$
(ب)	$+5{,}0$	$+5{,}0$
(پ)	$+2{,}0x$	$-2{,}0x$
(ت)	$+3{,}0x^2$	$+3{,}0x^2$

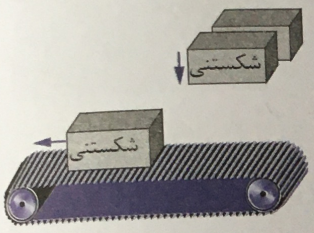
برای هریک از این چهار وضعیت، کار خالص انجام شده توسط نیروی خارجی بر ذره‌ای که مسیری رفت و برگشت را طی کرده است، پیدا کنید. (ث) برای کدام وضعیت، درصورت وجود، نیروی خارجی پایستار است؟

۷۷ نیروی پایستار $F(x)$ بر جسم کوچکی به جرم ۲٫۰kg که در راستای محور x حرکت می‌کند، وارد می‌شود. انرژی پتانسیل $U(x)$ وابسته به $F(x)$ در شکل ۸-۶۳ رسم شده است. وقتی ذره در $x=2{,}0\,m$ قرار دارد، سرعت آن $-1{,}5\,m/s$ است. (الف) بزرگی و (ب) جهت $F(x)$ در این مکان چیست؟ ذره میان چه مکان‌هایی در (پ) سمت چپ (ت) سمت راست حرکت می‌کند؟ (ث) تندی ذره در $x=7{,}0\,m$ چقدر است؟



شکل ۸-۶۳ مسئله‌ی ۷۷

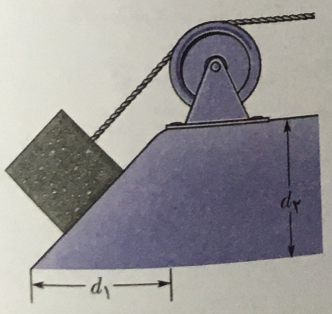
۷۸ در کارخانه‌ای، بسته‌هایی به جرم ۳۰۰kg به طور قائم از دستگاه بسته‌بندی روی تسمه‌نقاله‌ای رها می‌شوند که با تندی ۱٫۲۰m/s حرکت می‌کند (شکل ۸-۶۴)، (موتوری، تندی تسمه‌نقاله را ثابت نگه داشته است.) ضریب اصطکاک جنبشی میان تسمه‌نقاله و هر بسته ۰٫۴۰۰ است. پس از زمان کوتاهی، لغزش جعبه بر تسمه‌نقاله متوقف می‌شود و از آن پس بسته با تسمه‌نقاله حرکت می‌کند. برای بازه‌ی زمانی‌ای که در حین آن بسته نسبت به تسمه‌نقاله به سکون می‌رسد و در دستگاه مختصاتی که نسبت به کارخانه ساکن است (الف) انرژی جنبشی داده شده به بسته، (ب) بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر بسته و (پ) انرژی‌ای که توسط موتور تأمین شده است، چقدر است؟ (ت) توضیح دهید که چرا پاسخ قسمت‌های (الف) و (پ) متفاوت‌اند.



شکل ۸-۶۴ مسئله‌ی ۷۸

۷۹ اتومبیلی به جرم ۱۵۰۰kg با تندی ۳۰km/h بر جاده‌ای با شیب ۵٫۰° رو به پایین حرکت می‌کند. موتور اتومبیل خاموش است و تنها نیروهای وارد بر اتومبیل، نیروی اصطکاک خالص وارد از جاده و نیروی گرانشی است. پس از آنکه اتومبیل ۵۰m روی جاده حرکت کند، تندی آن ۴۰km/h است. (الف) انرژی مکانیکی اتومبیل بر اثر نیروی اصطکاک خالص وارد بر آن چقدر کاهش یافته است؟ (ب) بزرگی این نیروی اصطکاک خالص چقدر است؟

۸۰ GO در شکل ۸-۶۵، قطعه‌ای از سنگ گرانیت به جرم ۱۴۰۰kg توسط کابل و قرقره‌ای با تندی ثابت ۱٫۳۴m/s روی شیبی بالا کشیده می‌شود. فاصله‌های مشخص شده عبارت‌اند از $d_1=40\,m$ و $d_2=30\,m$. ضریب اصطکاک جنبشی میان قطعه و سطح شیبدار ۰٫۴۰ است. توان ناشی از نیرویی که کابل بر قطعه وارد می‌کند چقدر است؟



شکل ۸-۶۵ مسئله‌ی ۸۰

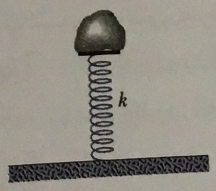
۸۱ ذره‌ای می‌تواند فقط در راستای محور x حرکت کند، که در

شده است. قطعه به فنر می‌چسبد و پس از فشردن آن به‌اندازه‌ی $19/0\,cm$ به‌طور لحظه‌ای متوقف می‌شود. چقدر کار توسط (الف) قطعه روی فنر و (ب) فنر روی قطعه، انجام شده است؟ (پ) مقدار h_0 چقدر است؟ (ت) اگر قطعه از ارتفاع $2/00h_0$ بالای فنر رها شود، فشردگی بیشینه‌ی فنر چقدر است؟

۱۷•• در مسئله‌ی ۶، بزرگی (الف) مؤلفه‌ی افقی و (ب) مؤلفه‌ی قائم نیروی *خالص* وارد بر قطعه در نقطه‌ی Q چقدر است؟ (پ) قطعه را از حال سکون، از چه ارتفاع h ای باید رها کرد تا در بالاترین نقطه‌ی حلقه در شرف قطع تماس با مسیر قرار گیرد؟ (در شرف قطع تماس به این معناست که مقدار نیروی عمودی سطح وارد بر قطعه از طرف مسیر، از آن پس برابر صفر می‌شود.) (ت) بزرگی نیروی عمودی سطح وارد بر قطعه در بالای حلقه را برحسب ارتفاع اولیه‌ی h، برای گستره‌ی $h=0$ تا $h=6R$ رسم کنید.

۱۸•• در مسئله‌ی ۷، تندی گلوله در پایین‌ترین نقطه چقدر است؟ (ب) اگر جرم گلوله افزایش یابد، آیا تندی آن افزایش می‌یابد یا کاهش و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟

۱۹•• GO شکل ۸-۳۶ سنگی به جرم $8/00\,kg$ را نشان می‌دهد که به حالت سکون روی فنری قرار دارد. فنر توسط سنگ به اندازه‌ی $10/0\,cm$ فشرده شده است. (الف) ثابت فنر چقدر است؟ (ب) سنگ را به‌اندازه‌ی $30/0\,cm$ دیگر روی فنر می‌فشاریم و سپس رها می‌کنیم. انرژی پتانسیل کشسانی فنر درست پیش از رها شدن سنگ چقدر است؟ (پ) وقتی سنگ از نقطه‌ی رها شدن تا ارتفاع بیشینه‌اش حرکت کند، تغییر انرژی پتانسیل دستگاه سنگ ـ کره زمین چقدر می‌شود؟ (ت) این ارتفاع بیشینه نسبت به نقطه‌ی رها شدن چقدر است؟

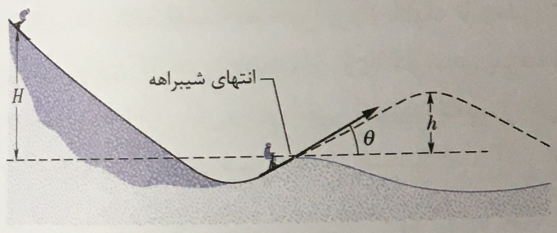


شکل ۸-۳۶ مسئله ۱۹

۲۰•• GO آونگی شامل سنگی به جرم $2/0\,kg$ است که با ریسمانی به‌طول $4/0\,m$ و جرم ناچیز تاب می‌خورد. تندی سنگ، وقتی از پایین‌ترین نقطه‌ی مسیر خود می‌گذرد $8/0\,m/s$ است. (الف) وقتی ریسمان با امتداد قائم زاویه‌ی $60°$ می‌سازد، تندی سنگ چقدر است؟ (ب) بزرگ‌ترین زاویه‌ای که ریسمان در حین حرکت سنگ با امتداد قائم می‌سازد، چقدر است؟ (پ) اگر انرژی پتانسیل دستگاه آونگ- کره زمین در پایین نقطه‌ی مسیر سنگ برابر صفر در نظر گرفته شود، انرژی مکانیکی کل دستگاه چقدر است؟

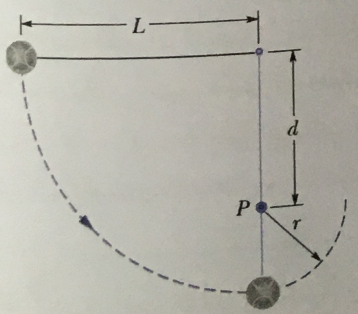
۲۱•• شکل ۸-۳۴ آونگی به‌طول $L=1/25\,m$ را نشان می‌دهد. تندی وزنه‌ی آونگ (که عملاً جرم کل آونگ را دارد) در لحظه‌ای که ریسمان با خط قائم زاویه‌ی $\theta_0=40/0°$ را می‌سازد، برابر با v_0 است. (الف) اگر $v_0=8/00\,m/s$ باشد، تندی وزنه‌ی آونگ در لحظه‌ای که در پایین‌ترین مکانش قرار دارد چقدر است؟ اگر آونگ رو به پایین تاب بخورد و سپس تا (ب) وضعیت افقی و (پ) وضعیت قائم به‌گونه‌ای بالا برود که ریسمان مستقیم باقی بماند، کم‌ترین مقداری که v_0 می‌تواند داشته باشد چقدر است؟ (ت) اگر θ_0 به‌اندازه‌ی چند درجه افزایش یابد آیا پاسخ‌های (ب) و (پ) افزایش می‌یابند یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟

۲۲•• اسکی‌بازی به جرم $60\,kg$، پرش خود را از ارتفاع $H=20\,m$ بالای شیبراهه‌ی پرش، از حال سکون شروع می‌کند و از شیبراهه در $\theta=28°$ جدا می‌شود (شکل ۸-۳۷). از اثر پس‌کشی [مقاومت] هوا چشم‌پوشی کنید و شیبراهه را بدون اصطکاک فرض کنید. (الف) ارتفاع بیشینه‌ی h ای که اسکی‌باز پس از جدا شدن از شیبراهه به آن می‌رسد چقدر است؟ (ب) اگر او وزن خود را با گذاشتن یک کوله‌پشتی افزایش دهد، آیا h بزرگتر می‌شود یا کوچکتر، و یا بدون تغییر می‌ماند؟



شکل ۸-۳۷ مسئله‌ی ۲۲

۲۳•• ILW به یک سر ریسمان شکل ۸-۳۸ به‌طول $L=120\,cm$، گلوله‌ای متصل است و سر دیگر آن در جایی محکم شده است. فاصله‌ی d از انتهای محکم شده‌ی ریسمان تا نقطه‌ی P، که در آنجا میخی کوبیده شده است، $75/0\,cm$ است. وقتی گلوله‌ای که در ابتدا ساکن است مطابق شکل از وضعیتی که در آن ریسمان افقی است رها شود، گلوله در راستای کمان خط‌چین تاب می‌خورد. هنگامی که گلوله (الف) به پایین‌ترین نقطه و (ب) بالاترین نقطه‌ی خود پس از گیرکردن ریسمان در میخ می‌رسد، تندی گلوله چقدر است؟



شکل ۸-۳۸ مسئله‌ی ۲۳

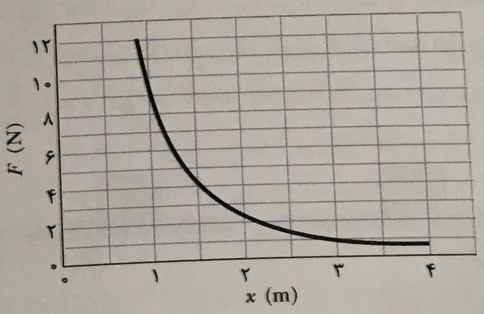
$F = ۱۰e^{-x/۲٫۰}\,\text{N}$ باشد (با x برحسب متر)، کار انجام شده توسط $\vec{F}$ را وقتی که جسم از $x = ۰$ به $x = ۲٫۰\,\text{m}$ می‌رود (الف) با رسم $F(x)$ و تخمین مساحت زیر این منحنی و (ب) با انتگرال‌گیری به‌طور تحلیلی، به‌دست آورید.

۷۴ ذره‌ای در راستای مسیری مستقیم در حالی‌که نیروی $\vec{F} = (۲\text{N})\hat{i} - (۴\text{N})\hat{j}$ بر آن وارد می‌شود، جابه‌جایی $\vec{d} = (۸\text{m})\hat{i} + c\hat{j}$ را انجام می‌دهد. (نیروهای دیگری نیز بر ذره وارد می‌شوند.) اگر کار انجام شده توسط نیروی $\vec{F}$ روی ذره (الف) صفر، (ب) مثبت و (ت) منفی باشد، مقدار c چقدر است؟

۷۵ جرم اتاقک بالابری ۴۵۰۰kg است و اتاقک می‌تواند تا حداکثر ۱۸۰۰kg بار را حمل کند. اگر اتاقک با بیشینه‌ی بار خود و با ۳٫۸۰m/s رو به بالا حرکت کند، چه توانی برای نیرو لازم است تا حرکت اتاقک در این تندی ثابت بماند؟

۷۶ قالب یخی به جرم ۴۵kg روی شیب بدون اصطکاکی که طول آن ۱٫۵m و ارتفاع آن ۰٫۹۱m است رو به پایین سُر می‌خورد. کارگری یخ را موازی با شیب رو به بالا هُل می‌دهد، طوری که یخ با تندی ثابت رو به پایین حرکت کند. (الف) بزرگی نیروی کارگر را به‌دست آورید. چقدر کار روی قالب یخ توسط (ب) نیروی کارگر، (پ) نیروی گرانشی وارد بر قالب یخ، (ت) نیروی عمودی سطح که از شیب بر قالب یخ وارد می‌شود و (ث) نیروی خالص وارد بر قالب یخ انجام شده است؟

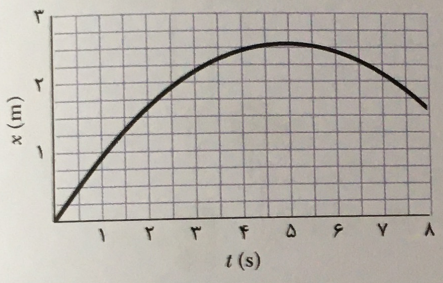
۷۷ وقتی ذره‌ای در راستای محور x حرکت کند، نیرویی در سوی مثبت محور x بر آن وارد می‌شود. شکل ۷-۵۰، بزرگی F این نیرو را برحسب مکان x ذره نشان می‌دهد. این منحنی با رابطه‌ی $F = a/x^۲$ داده می‌شود که در آن $a = ۹٫۰\,\text{N.m}^۲$ است. وقتی ذره از $x = ۱٫۰\,\text{m}$ به $x = ۳٫۰\,\text{m}$ می‌رود با (الف) محاسبه‌ی کار از روی نمودار و (ب) انتگرال‌گیری از تابع نیرو، کاری را بیابید که این نیرو روی ذره انجام داده است.



شکل ۷-۵۰ مسئله‌ی ۷۷

۷۸ یک جعبه‌ی CD در حالی‌که بر آن نیروی $\vec{F}_a$ وارد می‌شود، روی سطحی در سوی مثبت محور x سُر می‌خورد. این نیرو در راستای محور x و مؤلفه‌ی x آن $F_{ax} = ۹x - ۳x^۲$ است، که در آن x برحسب متر و F_{ax} برحسب نیوتون است. جعبه از حالت سکون در مکان $x = ۰$ شروع و تا رسیدن به سکون مجدد حرکت می‌کند. (الف) کار $\vec{F}_a$ بر روی جعبه را برحسب تابعی از x رسم کنید. (ب) در چه مکانی کار به مقدار صفر کاهش پیدا می‌کند؟ (پ) جعبه در چه مکانی دوباره ساکن می‌شود؟

۷۹ ظرف غذایی به جرم ۲٫۰kg روی سطح بدون اصطکاکی در سوی مثبت محور x لغزانده می‌شود. باد یکنواختی با شروع در زمان $t = ۰$ بر جعبه نیرویی در سوی منفی محور x وارد می‌کند. شکل ۷-۵۱ مکان x ظرف را برحسب تابعی از زمان t که در حین آن باد بر ظرف نیرو وارد می‌آورد، نشان می‌دهد. با استفاده از این نمودار، انرژی جنبشی ظرف را در (الف) $t = ۱٫۰\,\text{s}$ و (ب) $t = ۵٫۰\,\text{s}$ به‌دست آورید. (پ) نیروی باد از $t = ۱٫۰\,\text{s}$ تا $t = ۵٫۰\,\text{s}$ چقدر کار روی ظرف انجام می‌دهد؟



شکل ۷-۵۱ مسئله‌ی ۷۹

۸۰ *انتگرال‌گیری عددی.* جعبه‌ی نانی توسط نیرویی به بزرگی $F = \exp(-۲x^۲)$، با x برحسب متر و F برحسب نیوتون، در راستای محور x از $x = ۰٫۱۵\,\text{m}$ تا $x = ۱٫۲۰\,\text{m}$ حرکت داده می‌شود. این نیرو چقدر کار روی جعبه‌ی نان انجام داده است؟

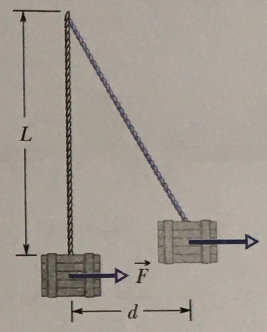
۸۱ در آرایش قطعه- فنر شکل ۷-۱۰، جرم قطعه ۴٫۰۰kg و ثابت فنر ۵۰۰N/m است. قطعه از مکان $x_i = ۰٫۳۰۰\,\text{m}$ رها می‌شود. (الف) تندی قطعه در $x = ۰$، (ب) کار فنر وقتی قطعه به $x = ۰$ می‌رسد، (پ) توان لحظه‌ای ناشی از فنر در مکان رهاشدگی x_i، (ت) توان لحظه‌ای در $x = ۰$ و (ث) مکان قطعه وقتی توان بیشینه است، چقدر است؟

۸۲ قطعه‌ای به جرم ۴٫۰۰kg توسط نیروی ۵۰٫۰N بر روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی، از حالت سکون رو به بالا کشیده می‌شود. بزرگی نیروی عمودی وارد بر قطعه از سوی سطح شیبدار برابر ۱۳٫۴۱N است. تندی قطعه در هنگامی‌که جابه‌جایی رو به بالای آن ۳٫۰۰m است، چقدر است؟

۸۳ به انتهای آزاد فنری با ثابت فنر ۱۸٫۰N/cm، قفسی متصل شده است. (الف) وقتی فنر از طول واهلیده‌ی خود به اندازه‌ی

توسط نیرویی که به آن شتاب می‌دهد انجام شده است؟ توان لحظه‌ای ناشی از نیرو (ب) در پایان این بازه و (پ) در پایان نخستین نیمه‌ی این بازه چقدر است؟

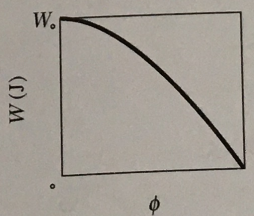
۵۷ جعبه‌ای به جرم ۲۳۰kg از انتهای ریسمانی به طول $L = ۱۲٫۰\text{m}$ آویزان است. با نیروی متغیر $\vec{F}$ جعبه را به‌طور افقی هُل می‌دهید تا به اندازه‌ی $d = ۴٫۰۰\text{m}$ به یک طرف حرکت کند (شکل ۷-۴۴). (الف) وقتی جعبه در این مکان نهایی است، بزرگی $\vec{F}$ چقدر است؟ در حین جابه‌جایی جعبه (ب) کار کلّ انجام شده روی آن، (پ) کار انجام شده توسط نیروی گرانشی روی جعبه و (ت) کار انجام شده توسط کششی که از ریسمان بر جعبه وارد می‌آید، چقدر است؟ (ث) با توجه به اینکه جعبه پیش و پس از جابه‌جایی خود بدون حرکت است، با استفاده از پاسخ‌های (ب)، (پ) و (ت) کاری را که نیروی شما روی جعبه انجام می‌دهد، به‌دست آورید. (ج) چرا کار نیروی شما برابر با حاصلضرب جابه‌جایی افقی در پاسخ (الف) نیست؟



شکل ۷-۴۴ مسئله‌ی ۵۷

۵۸ برای کشیدن صندوقی به جرم ۵۰kg روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، کارگری نیروی ۲۱۰N را در جهت ۲۰° بالای افق بر آن وارد می‌کند. هنگامی‌که صندوق به اندازه‌ی ۳٫۰m حرکت کند، چقدر کار توسط (الف) نیروی کارگر، (ب) نیروی گرانشی وارد بر صندوق و (پ) نیروی عمودی سطح وارد بر صندوق، انجام شده است؟ (ت) کار کلّ انجام شده روی صندوق چقدر است؟

۵۹ بر مهره‌ای که در راستای یک سیم مستقیم به اندازه‌ی +۵٫۰cm جابه‌جا شده است، نیروی $\vec{F}_a$ وارد آمده است. بزرگی $\vec{F}_a$ در یک مقدار معین ثابت شده است، ولی زاویه‌ی ϕی میان $\vec{F}_a$ و جابه‌جایی مهره را می‌توان انتخاب کرد. شکل ۷-۴۵ کار Wی انجام شده توسط $\vec{F}_a$ را بر روی مهره در گستره‌ای از مقادیر ϕ نشان می‌دهد؛ $W_0 = ۲۵\text{J}$ است. اگر ϕ (الف) ۶۴° و (ب) ۱۴۷° باشد، چقدر کار توسط $\vec{F}_a$ انجام شده است؟

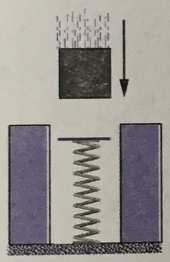


شکل ۷-۴۵ مسئله‌ی ۵۹

۶۰ کودک وحشت‌زده‌ای که توسط مادرش نگه‌داشته شده است، روی سرسره‌ی بدون اصطکاکی رو به پایین سُر می‌خورد. اگر نیروی وارد از مادر به کودک ۱۰۰N رو به بالای سرسره باشد، وقتی کودک ۱٫۸m رو به پایین سُر می‌خورد، انرژی جنبشی آن به اندازه‌ی ۳۰J افزایش می‌یابد. (الف) نیروی گرانشی در حین ۱٫۸m پایین رفتن کودک، چقدر کار روی او انجام داده است؟ (ب) اگر کودک توسط مادرش نگه داشته نشده بود، انرژی جنبشی او، پس از طی همان مسافت، چقدر افزایش می‌یافت؟

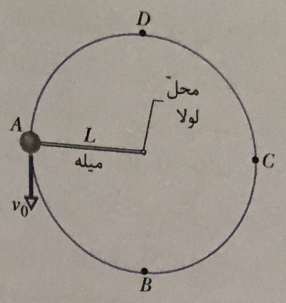
۶۱ چقدر کار توسط نیروی $\vec{F} = (۲x\,\text{N})\hat{\text{i}} + (۳\,\text{N})\hat{\text{j}}$، با x برحسب متر، برای بردن یک ذره از $\vec{r}_i = (۲\text{m})\hat{\text{i}} + (۳\text{m})\hat{\text{j}}$ به مکان $\vec{r}_f = -(۴\text{m})\hat{\text{i}} - (۳\text{m})\hat{\text{j}}$ انجام می‌شود؟

۶۲ قطعه‌ای به جرم ۲۵۰g بر روی فنر واهلیده‌ی قائمی با ثابت فنر $k = ۲٫۵\,\text{N/cm}$ فرومی‌افتد (شکل ۷-۴۶). قطعه به فنر می‌چسبد و فنر را تا پیش از توقف لحظه‌ای ۱۲cm فشرده می‌کند. وقتی فنر فشرده می‌شود، چقدر کار توسط (الف) نیروی گرانشی وارد بر آن و (ب) نیروی فنری انجام شده است؟ (پ) تندی قطعه درست پیش از برخورد با فنر چقدر است؟ (فرض کنید اصطکاک ناچیز است.) (ت) اگر تندی برخورد دو برابر شود، فشردگی بیشینه‌ی فنر چقدر می‌شود؟


شکل ۷-۴۶ مسئله‌ی ۶۲

۶۳ برای هُل دادن رو به بالای صندوقی به جرم ۲۵٫۰kg روی شیب بدون اصطکاکی که با افق زاویه‌ی ۲۵٫۰° می‌سازد، کارگری نیروی ۲۰۹N را موازی شیب بر آن وارد می‌کند. وقتی صندوق به اندازه‌ی ۱٫۵۰m می‌لغزد، چقدر کار روی صندوق توسط (الف) نیروی وارد از کارگر، (ب) نیروی گرانشی وارد بر صندوق و (پ) نیروی عمودی وارد از سطح شیبدار بر صندوق، انجام می‌گیرد؟ (ت) کار کلّ انجام شده روی صندوق چقدر است؟

۶۴ جعبه‌هایی از یک مکان در انبار توسط تسمه‌نقاله‌ای که با تندی ثابت ۰٫۵۰m/s حرکت می‌کند، به مکان دیگری منتقل می‌شوند. در یک مکان معین، تسمه‌نقاله از شیبی به طول ۲٫۰m که با افق زاویه‌ی ۱۰° می‌سازد بالا می‌رود، سپس ۲٫۰m را افقی طی می‌کند و سرانجام از شیب دیگری به طول ۲٫۰m که با افق زاویه‌ی ۱۰° می‌سازد، پایین می‌آید. فرض کنید جعبه‌ای به جرم ۲٫۰kg بدون لیز خوردن، توسط تسمه‌نقاله منتقل شود. هنگامی که جعبه (الف) از شیب ۱۰° بالا رود،



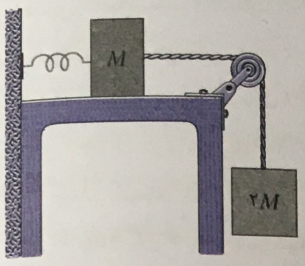
شکل ۸-۶۸ مسئله‌ی ۸۷

۸۸ یک بالون آبی به جرم ۱٫۵۰kg با تندی اولیه‌ی ۳٫۰۰m/s مستقیماً رو به بالا پرتاب می‌شود. (الف) انرژی جنبشی بالون درست در لحظه‌ی پرتاب چقدر است؟ (ب) در حین صعود کامل بالون، نیروی گرانشی چقدر کار روی بالون انجام می‌دهد؟ (پ) در حین این صعود کامل، تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه بالون-کره زمین چقدر است؟ (ت) اگر انرژی پتانسیل گرانشی در نقطه‌ی پرتاب برابر صفر در نظر گرفته شود، مقدار آن در لحظه‌ای که بالون به ارتفاع بیشینه‌ی خود می‌رسد چقدر است؟ (ث) حال اگر انرژی پتانسیل گرانشی در ارتفاع بیشینه‌ی بالون برابر صفر اختیار شود، مقدار آن در نقطه‌ی پرتاب چقدر است؟ (ج) ارتفاع بیشینه‌ی بالون چقدر است؟

۸۹ ظرف نوشابه‌ای به جرم ۲٫۵۰kg مستقیماً از بلندی ۴٫۰۰m با تندی اولیه‌ی ۳٫۰۰m/s رو به پایین پرتاب شده است. می‌توان نیروی پس‌کشی [مقاومت] هوای وارد بر ظرف را نادیده گرفت. انرژی جنبشی ظرف (الف) وقتی در انتهای سقوط خود به سطح زمین می‌رسد و (ب) وقتی در نیمه‌راه مسیر خود تا رسیدن به سطح زمین است، چقدر است؟ (پ) انرژی جنبشی ظرف و (ت) انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه ظرف-کره زمین، ۰٫۲۰۰s پیش از آنکه ظرف به سطح زمین برسد، چقدر است؟ برای این قسمت، نقطه‌ی مرجع $y=0$ را در سطح زمین اختیار کنید.

۹۰ نیروی افقی ثابتی، چمدانی به جرم ۵۰kg را با تندی ثابت به اندازه‌ی ۶٫۰m روی شیبی ۳۰° بالا می‌برد. ضریب اصطکاک جنبشی میان چمدان و سطح شیبدار ۰٫۲۰ است. (الف) کار انجام شده توسط نیروی وارد شده و (ب) افزایش انرژی گرمایی چمدان و شیب چقدر است؟

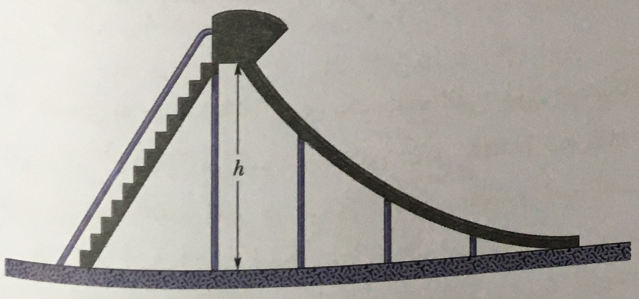
۹۱ GO همان‌طور که در شکل ۸-۶۹ نشان داده شده است، دو قطعه به جرم‌های $M=2.0\text{kg}$ و $2M$ به فنری با ثابت فنر $k=200\text{N/m}$ متصل شده‌اند که یک سر آن به دیواری محکم شده است. سطح افقی و قرقره بدون اصطکاک‌اند و جرم قرقره ناچیز است. قطعه‌ها از حالت سکون در وضعیتی که فنر در طول واهلیده‌ی خود است، رها می‌شوند. وقتی قطعه‌ی آویزان به اندازه‌ی ۰٫۰۹۰m سقوط کند (الف) انرژی جنبشی مجموع دو قطعه و (ب) انرژی جنبشی قطعه‌ی آویزان چقدر است؟ (پ) فاصله‌ی بیشینه‌ای که قطعه‌ی آویزان تا پیش از توقف لحظه‌ای سقوط می‌کند چقدر است؟



شکل ۸-۶۹ مسئله‌ی ۹۱

۹۲ جریان حاصل از خاکسترهای یک آتشفشان که در حال حرکت روی سطحی افقی است، با یک شیب رو به بالای ۱۰° مواجه می‌شود. جبهه‌ی این جریان پیش از توقف، ۹۲۰m رو به بالای شیب حرکت می‌کند. فرض کنید گازهای به دام افتاده در این جریان، آن را از سطح زمین بالا ببرند و بدین ترتیب بتوان از نیروی اصطکاک وارد از زمین چشم‌پوشی کرد؛ همچنین فرض کنید انرژی مکانیکی جبهه‌ی جریان پایسته است. تندی اولیه‌ی جبهه‌ی جریان چقدر بوده است؟

۹۳ سرسره‌ای به شکل یک کمان دایره‌ای، شعاعی به طول ۱۲m دارد. ارتفاع بیشینه‌ی سرسره $h=4.0\text{m}$ و سطح زمین مماس بر دایره است (شکل ۸-۷۰). بچه‌ای به جرم ۲۵kg که از حالت سکون و از بالاترین نقطه‌ی سرسره شروع به سُر خوردن می‌کند، در پایین سرسره تندی‌ای برابر با ۶٫۲m/s دارد. (الف) طول سرسره چقدر است؟ (ب) در این مسافت، نیروی اصطکاک متوسطی که بر بچه وارد می‌شود، چقدر است؟ اگر به جای سطح زمین، خط قائم عبوری از *بالاترین نقطه‌ی* سرسره بر دایره مماس باشد، (پ) طول سرسره و (ت) نیروی اصطکاک متوسط وارد بر بچه چقدر می‌شود؟

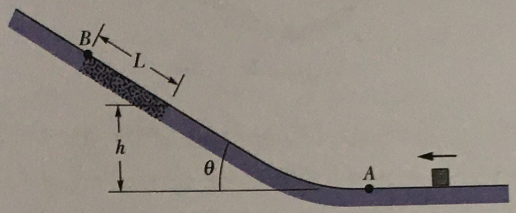


شکل ۸-۷۰ مسئله‌ی ۹۳

۹۴ کشتی مجلل *ملکه الیزابت* دوم دارای موتوری دیزلی-الکتریکی با توان بیشینه‌ی 92MW در تندی ۳۲٫۵ گره‌ی دریایی است. در این تندی چه نیروی رو به جلویی بر کشتی وارد می‌شود ($1\text{ گره دریایی}=1.852\text{km/h}$)

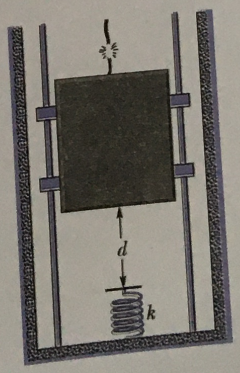
۰٫۷۷mm مستقیماً رو به بالا به خود قوس می‌دهد و سپس تا ارتفاع بیشینه‌ی $h=0{,}30\,m$ می‌جهد. در حین این پرتاب، بزرگی متوسط (الف) نیروی خارجی وارد به پشت سوسک از طرف کف زمین و (ب) شتاب سوسک برحسب g چقدر است؟

●●●۶۲ GO در شکل ۸-۵۵، قطعه‌ای بر مسیر بدون اصطکاکی رو به بالا می‌لغزد تا اینکه به بخشی به طول $L=0{,}75\,m$ می‌رسد که از ارتفاع $h=2{,}0\,m$ روی شیبی با زاویه‌ی $\theta=30^\circ$ آغاز می‌شود. در این بخش، ضریب اصطکاک جنبشی ۰٫۴۰ است. قطعه با تندی $8{,}0\,m/s$ از نقطه‌ی A عبور می‌کند. اگر قطعه بتواند به نقطه‌ی B برسد (جایی که اصطکاک به پایان می‌رسد)، تندی‌اش در آن نقطه چقدر است؟ و اگر نتواند به آن نقطه برسد، بیشترین ارتفاعی که در بالای نقطه‌ی A می‌تواند به آن برسد چقدر است؟



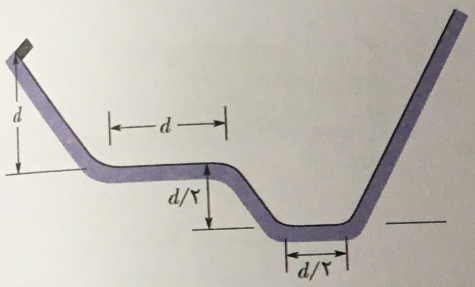
شکل ۸-۵۵ مسئله‌ی ۶۲

●●●۶۳ کابل اتاقک آسانسور شکل ۸-۵۶ که جرمی برابر $1800\,kg$ دارد، وقتی اتاقک در طبقه‌ی اول ساکن است و کف آن به فاصله‌ی $d=3{,}7\,m$ بالای فنری با ثابت فنر $k=0{,}15\,MN/m$ قرار دارد، پاره می‌شود. یک وسیله‌ی ایمنی، اتاقک را روی ریل‌هایی که بر روی آن حرکت می‌کند، طوری نگه داشته است که نیروی اصطکاک ثابتی به بزرگی $4{,}4\,kN$ با حرکت اتاقک مخالفت می‌کند. (الف) تندی اتاقک را درست پیش از برخورد با فنر به‌دست آورید. (ب) مسافت بیشینه‌ی x ای که فنر فشرده می‌شود چقدر است؟ (نیروی اصطکاک در حین فشرده شدن فنر، همچنان وارد می‌شود). (پ) مسافتی را که اتاقک رو به بالا می‌جهد به‌دست آورید. (ت) با استفاده از پایستگی انرژی، مسافت کلّ تقریبی را که اتاقک تا پیش از متوقف شدن طی می‌کند بیابید. (فرض کنید نیروی اصطکاک وارد بر اتاقک در لحظه‌ای که اتاقک ساکن است، ناچیز باشد.)



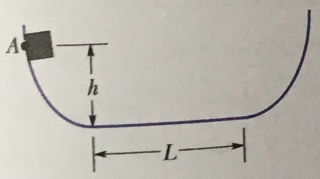
شکل ۸-۵۶ مسئله‌ی ۶۳

●●●۶۴ GO در شکل ۸-۵۷، قطعه‌ای که در ارتفاع $d=40\,cm$ از حالت سکون رها شده است. پس از آنکه بر شیب بدون اصطکاکی رو به پایین می‌لغزد، وارد نخستین بخش مسطح می‌شود که طول آن d و ضریب اصطکاک جنبشی در آنجا ۰٫۵۰ است. اگر قطعه باز به حرکت خود ادامه دهد، آنگاه بر شیب بدون اصطکاک دومی به بلندی $d/2$ رو به پایین می‌لغزد و سپس وارد ناحیه‌ی مسطح دومی می‌شود که طول آن $d/2$ و ضریب اصطکاک جنبشی آن دوباره ۰٫۵۰ است. اگر باز قطعه به حرکت خود ادامه دهد، از شیب بدون اصطکاک دیگری آنقدر بالا می‌رود تا به توقف (لحظه‌ای) برسد. قطعه در کجا متوقف می‌شود؟ اگر محلّ توقف نهایی آن روی یکی از بخش‌های مسطح باشد، آن بخش را مشخص کنید و فاصله‌ی L از لبه‌ی چپ آن را به‌دست آورید. اگر قطعه به شیب آخری برسد، ارتفاع H محلّ توقف لحظه‌ای را از بالای پایین‌ترین بخش سطح به‌دست آورید.



شکل ۸-۵۷ مسئله‌ی ۶۴

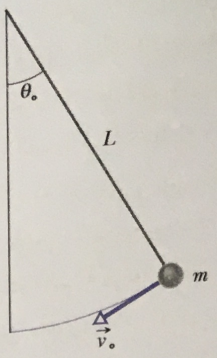
●●●۶۵ GO قطعه‌ی کوچکی می‌تواند روی مسیری که بخش میانی آن مسطح و دو انتهای آن بالا آمده است، مطابق شکل ۸-۵۸، بلغزد. طول قسمت مسطح $L=40\,cm$ است. بخش‌های خمیده‌ی مسیر بدون اصطکاک‌اند، ولی ضریب اصطکاک جنبشی بخش مسطح $\mu_k=0{,}20$ است. قطعه از نقطه‌ی A به ارتفاع $h=L/2$، از حالت سکون رها می‌شود. قطعه سرانجام در چه فاصله‌ای از لبه‌ی سمت چپ قسمت مسطح متوقف می‌شود؟



شکل ۸-۵۸ مسئله‌ی ۶۵

مسئله‌های تکمیلی

۶۶ بوزینه‌ای به جرم $3{,}2\,kg$ در ارتفاع $3{,}0\,m$ بالای سطح زمین آویزان است. (الف) اگر نقطه‌ی مرجع $y=0$ را روی سطح زمین اختیار کنیم، انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه بوزینه- کره زمین چقدر است؟ اگر بوزینه روی زمین بپرد و با فرض آنکه پس‌کشی [مقاومت] هوای وارد بر آن ناچیز باشد (ب) انرژی جنبشی و (پ) تندی بوزینه درست پیش از رسیدن به زمین چقدر می‌شود؟



شکل ۸-۳۴ مسئله‌های ۷، ۱۸ و ۲۱

۷•• شکل ۸-۳۴ میله‌ی باریکی به‌طول $L = ۲٫۰\,m$ و جرم ناچیز را نشان می‌دهد که می‌تواند حول یک سرِ خود، در دایره‌ای قائم بچرخد. گلوله‌ای به‌جرم $m = ۵٫۰۰\,kg$ به سر دیگر میله متصل شده است. میله را تا زاویه‌ی $\theta_0 = ۳۰٫۰^\circ$ به یک طرف می‌کشیم و با سرعت اولیه‌ی $\vec{v}_0 = 0$ رها می‌کنیم. وقتی گلوله به پایین‌ترین نقطه‌ی مسیرش می‌رسد (الف) نیروی گرانشی چقدر کار روی گلوله انجام می‌دهد؟ و (ب) تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه گلوله- کره زمین چقدر است؟ (پ) اگر انرژی پتانسیل گرانشی در پایین‌ترین نقطه برابر صفر درنظر گرفته شود، مقدار آن درست در لحظه‌ی رها شدن گلوله چقدر است؟ (ت) اگر زاویه‌ی θ افزایش یابد، آیا بزرگی پاسخ‌های (الف) تا (پ) افزایش می‌یابند یا کاهش، یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟

۸•• گلوله‌ی برفی به جرم $۱٫۵۰\,kg$ از بالای صخره‌ای به‌ارتفاع $۱۲٫۵\,m$ پرتاب می‌شود. سرعت اولیه‌ی گلوله $۱۴٫۰\,m/s$ در جهت $۴۱٫۰^\circ$ بالای افق است. (الف) در حین پرواز گلوله تا زمین تخت پایین صخره، نیروی گرانشی چقدر کار روی گلوله‌ی برف انجام داده است؟ (ب) در حین این پرواز، تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه گلوله‌ی برف- کره زمین چقدر است؟ (پ) اگر انرژی پتانسیل گرانشی در ارتفاع صخره برابر صفر درنظر گرفته شود، مقدار آن وقتی گلوله‌ی برف به سطح زمین می‌رسد، چقدر است؟

بخش ۸-۲ پایستگی انرژی مکانیکی

۹• GO در مسئله‌ی ۲، تندی قطار هوایی تفریحی در (الف) نقطه‌ی A، (ب) نقطه‌ی B، و (پ) نقطه‌ی C چقدر است؟ (ت) این قطار هوایی تا چه ارتفاعی بر آخرین تپه، که ارتفاع آن به حدّی زیاد است که نمی‌تواند از آن عبور کند، بالا می‌رود؟ (ث) اگر این قطار را با قطار هوایی دیگری که جرمش دو برابر است جایگزین کنیم، آنگاه پاسخ‌های (الف) تا (ت) چقدر می‌شوند؟

۱۰• (الف) در مسئله‌ی ۳، تندی کتاب وقتی به دست دوستتان می‌رسد چقدر است؟ (ب) اگر آن کتاب را با کتاب دیگری که جرمش دو برابر است جایگزین کنیم، تندی آن چقدر می‌شود؟ (پ) اگر، به‌جای رها کردن، به تکه‌یخ تندی رو به پایینی در سطح کاسه می‌دادیم، آیا پاسخ (الف) افزایش می‌یافت یا کاهش و یا بدون تغییر می‌ماند؟

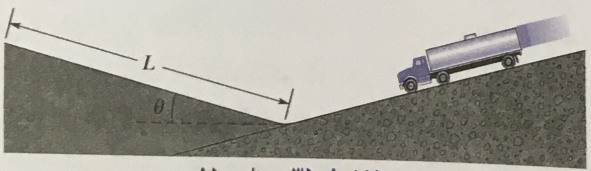
۱۱• WWW (الف) در مسئله‌ی ۵، تندی تکه‌یخ وقتی به ته کاسه می‌رسد چقدر است؟ (ب) اگر این تکه‌یخ را با تکه‌یخ دیگری که جرمش دو برابر است جایگزین کنیم، تندی آن چقدر می‌شود؟ (پ) اگر، به‌جای رها کردن، به تکه‌یخ تندی رو به پایینی در سطح کاسه می‌دادیم، آیا پاسخ (الف) افزایش می‌یافت یا کاهش و یا بدون تغییر می‌ماند؟

۱۲• (الف) برای مسئله‌ی ۸، با استفاده از روش‌های انرژی به جای روش‌هایی که در فصل ۴ معرفی شدند، تندی گلوله‌ی برف را به هنگام رسیدن به زمین تخت پایین صخره به‌دست آورید. (ب) اگر زاویه‌ی پرتاب به $۴۱٫۰^\circ$ زیر افق تغییر کند و (پ) اگر جرم گلوله‌ی برف $۲٫۵۰\,kg$ شود، تندی گلوله‌ی برف چقدر می‌شود؟

۱۳• تیله‌ای به جرم $۵٫۰\,g$ با استفاده از یک تفنگ فنری به‌طور قائم رو به بالا شلیک می‌شود. فنر باید به‌اندازه‌ی $۸٫۰\,cm$ فشرده شود تا تیله دقیقاً به هدفی برسد که $۲۰\,m$ بالای مکان تیله به‌هنگامی است که روی فنرِ فشرده قرار داشت. (الف) در حین این صعود ۲۰ متری، تغییر ΔU_gی انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه گلوله- کره زمین چقدر است؟ (ب) در حین پرتاب گلوله، تغییر ΔU_s انرژی پتانسیل کشسانی فنر چقدر است؟ (پ) ثابت فنر چقدر است؟

۱۴• (الف) در مسئله‌ی ۴، تندی اولیه‌ای که باید به گلوله داده شود تا با تندی صفر به وضعیت قائم در بالا برسد چقدر است؟ در این صورت تندی آن در (ب) پایین‌ترین نقطه و (پ) نقطه‌ای در طرف راست که هم‌تراز نقطه‌ی ابتدایی است، چقدر است؟ (ت) اگر جرم گلوله را دو برابر کنیم آیا پاسخ‌های (الف) تا (پ) افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟

۱۵• در شکل ۸-۳۵ اتومبیلی که ترمز آن بریده است درست پیش از آنکه راننده آن را به شیب فرار اضطراری بدون اصطکاکی با زاویه‌ی شیب رو به بالای $\theta = ۱۵^\circ$ هدایت کند، با تندی $۱۳۰\,km/h$ روی یک سراشیبی به‌طور غیرقابل کنترلی حرکت می‌کند. جرم کامیون $۱٫۲\times۱۰^۴\,kg$ است. (الف) کمترین طول L شیب اضطراری باید چقدر باشد تا کامیون (به‌طور لحظه‌ای) روی آن متوقف شود؟ (فرض کنید کامیون یک ذره است و این فرض را توجیه کنید.) (ب) اگر جرم کامیون کاهش یابد و یا (پ) تندی آن کاهش پیدا کند، آیا طول کمینه‌ی L افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟

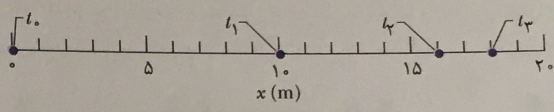


شکل ۸-۳۵ مسئله‌ی ۱۵

۱۶•• قطعه‌ای به‌جرم $۷۰۰\,g$ از حالت سکون و از ارتفاع h_0 بالای یک فنر قائم با ثابت فنر $k = ۴۰۰\,N/m$ و جرم ناچیز رها

●●۵ انرژی جنبشی پدری که با پسرش مسابقه‌ی دو می‌دهد نصف انرژی جنبشی پسرش است و پسر نصف پدر جرم دارد. وقتی که پدر بر تندی خود به میزان ۱٫۰m/s می‌افزاید، دارای همان انرژی جنبشی پسرش می‌شود. تندی‌های اولیه‌ی پدر و پسر چقدر بوده است؟

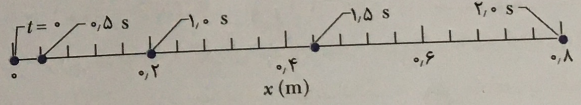
●●۶ مهره‌ای به جرم $1{,}8\times10^{-2}\,kg$ روی سیمی در سوی مثبت محور x حرکت می‌کند. با شروع حرکت مهره در زمان $t=0$ با تندی 12m/s از $x=0$ بر آن نیروی ثابتی وارد می‌شود. شکل ۷-۲۴ مکان مهره را در زمان‌های $t_0=0$، $t_1=1{,}0\,s$، $t_2=2{,}0\,s$ و $t_3=3{,}0\,s$ نشان می‌دهد. مهره در $t=3{,}0\,s$ به‌طور لحظه‌ای متوقف می‌شود. انرژی جنبشی مهره در $t=10\,s$ چقدر است؟



شکل ۷-۲۴ مسئله‌ی ۶

بخش ۷-۲ کار و انرژی جنبشی

●۷ بر جسمی به جرم 3,0kg که بر تخت هوای افقی بدون اصطکاکی ساکن است، نیروی افقی ثابت $\vec{F}$ در سوی مثبت محور x در راستای تخت وارد می‌شود. نمودار استروبوسکوپی مکان جسم وقتی به سمت راست می‌لغزد در شکل ۷-۲۵ نشان داده شده است. نیروی $\vec{F}$ در زمان $t=0$ بر جسم وارد شده است و این نمودار، مکان جسم را در بازه‌های زمانی ۰٫۵۰ ثانیه‌ای ثبت کرده است. در بین زمان‌های $t=0$ تا $t=2{,}0\,s$، نیروی $\vec{F}$ چقدر کار روی جسم انجام داده است؟



شکل ۷-۲۵ مسئله‌ی ۷

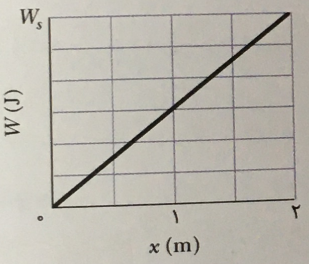
●۸ قطعه یخی که در آب شناور است بر اثر نیروی $\vec{F}=(210\,N)\hat{i}-(150\,N)\hat{j}$ که از سوی جریان آب بر آن وارد می‌شود، جابه‌جایی $\vec{d}=(15\,m)\hat{i}-(12\,m)\hat{j}$ را انجام می‌دهد. نیروی جریان آب در حین این جابه‌جایی چقدر کار انجام داده است؟

●۹ تنها نیروی وارد بر یک قوطی به جرم 2,0kg که در صفحه‌ی xy حرکت می‌کند دارای بزرگی 5,0N است. سرعت قوطی در ابتدا 4,0m/s در سوی مثبت x و چند لحظه بعد 6,0m/s در سوی مثبت y است. در این مدت، نیروی 5,0N چقدر کار روی قوطی انجام داده است؟

●۱۰ در حالی‌که بر سکه‌ای نیروی ثابتی وارد می‌شود، سکه از نقطه‌ای واقع بر مبداء دستگاه مختصات xy به نقطه‌ای به مختصات $(3{,}0\,m, 4{,}0\,m)$ روی سطح بدون اصطکاکی می‌لغزد. بزرگی نیرو 2,0N در جهت 100° پادساعتگرد نسبت به سوی مثبت محور x است. در حین این جابه‌جایی، چقدر کار توسط این نیرو انجام شده است؟

●●۱۱ نیرویی به بزرگی 12,0N با سمتگیری ثابت، روی ذره‌ای که جابه‌جایی سه بُعدی $\vec{d}=(2{,}00\hat{i}-4{,}00\hat{j}+3{,}00\hat{k})\,m$ را طی می‌کند، کار انجام می‌دهد. اگر تغییر انرژی جنبشی ذره (الف) +30,0J و (ب) −30,0J باشد، زاویه‌ی میان نیرو و جابه‌جایی چقدر است؟

●●۱۲ یک قوطی پیچ و مهره به اندازه‌ی 2,00m در راستای محور x توسط زمین‌شویی بر کف روغنی (بدون اصطکاک) یک تعمیرگاه اتومبیل هُل داده می‌شود. شکل ۷-۲۶ کار Wی انجام شده روی قوطی توسط نیروی ثابت افقی ناشی از زمین‌شوی را برحسب مکان x قوطی نشان می‌دهد. محور قائم شکل با $W_s=6{,}0\,J$ مقیاس‌بندی شده است. (الف) بزرگی این نیرو چقدر است؟ (ب) اگر انرژی جنبشی اولیه‌ی قوطی 3,00J بوده باشد، انرژی جنبشی آن پس از پیمودن 22,00m در سوی مثبت محور x چقدر می‌شود؟



شکل ۷-۲۶ مسئله‌ی ۱۲

●●۱۳ یک لوژ و سرنشین آن، به جرم کلّ 85kg، با تندی اولیه‌ی 37m/s از یک سراشیبی پایین می‌آید و وارد یک مسیر مستقیم افقی می‌شود. اگر نیرویی با آهنگ ثابت $2{,}0\,m/s^2$ حرکت آن‌ها را تا لحظه‌ی توقف کُند کند، (الف) بزرگی F مورد نیاز برای این نیرو چقدر است؟ (ب) فاصله‌ی dیی که آن‌ها در حین کُند شدن طی می‌کنند چقدر است؟ (اگر حرکت آن‌ها با آهنگ $4{,}0\,m/s^2$ کُند شود، آنگاه (ت) F، (ث) d و (ج) W چقدر می‌شود؟

●●۱۴ GO شکل ۷-۲۷ نمای دید از بالای سه نیروی افقی را نشان می‌دهد که بر یک محموله‌ی بار وارد شده است. محموله در ابتدا ساکن بوده است، ولی اکنون بر سطح بدون اصطکاکی می‌لغزد. بزرگی نیروها عبارت‌اند از $F_1=3{,}00\,N$، $F_2=4{,}00\,N$ و $F_3=10{,}0\,N$ و زاویه‌های نشان داده شده در شکل $\theta_2=50{,}0°$ و $\theta_3=35{,}0°$ هستند. کار خالص انجام شده روی محموله توسط این سه نیرو در حین نخستین 4,00m جابه‌جایی چقدر است؟

۹۵ جعبه‌ای به جرم ۱۸۰kg که به حالت سکون در بالای شیبی به طول ۳٫۷m و زاویه‌ی ۳۹° نسبت به افق قرار دارد به طور اتفاقی از دست یک کارگر کارخانه رها می‌شود. ضریب اصطکاک جنبشی میان جعبه و شیب و نیز میان جعبه و کف افقی کارخانه ۰٫۲۸ است. (الف) تندی جعبه وقتی به پایین شیب می‌رسد چقدر است؟ (ب) جعبه در پی رسیدن به پایین شیب، چقدر روی کف کارخانه می‌لغزد؟ (فرض کنید انرژی جنبشی جعبه وقتی که از شیب به کف کارخانه می‌رسد، تغییر نمی‌کند.) (پ) اگر جرم جعبه را نصف کنیم، آیا پاسخ قسمت‌های (الف) و (ب) افزایش می‌یابند یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟

۹۶ اگر بازیکن بیسبالی به جرم ۷۰kg درست در همان لحظه‌ای که در صفحه‌ی خانه به زمین می‌خورد با تندی اولیه‌ی ۱۰m/s سر بخورد (الف) کاهش انرژی جنبشی بازیکن و (ب) افزایش انرژی گرمایی بدن بازیکن و سطح زمینی که روی آن سر می‌خورد، تا لحظه‌ی توقف چقدر است؟

۹۷ موزی به جرم ۰٫۵۰kg که با تندی اولیه‌ی ۰٫۴۰۰m/s مستقیماً رو به بالا پرتاب شده است به ارتفاع بیشینه‌ی ۰٫۸۰m می‌رسد. در حین بالا رفتن موز، نیروی پس‌کشی [مقاومت] هوا موجب چه تغییری در انرژی مکانیکی دستگاه موز- کره زمین می‌شود؟

۹۸ یک آلت فلزی با نیرویی به بزرگی ۱۸۰N مقابل لبه‌ی چرخ یک ماشین سنباده برای تیز شدن نگه داشته شده است. بین لبه‌ی چرخ و آن بخشی از آلت که تیز می‌شود، اصطکاک وجود دارد. شعاع چرخ ۲۰٫۰cm است و با آهنگ ۲٫۵۰rev/s می‌چرخد. ضریب اصطکاک جنبشی میان چرخ و آلت فلزی ۰٫۳۲۰ است. انرژی با چه آهنگی از موتوری که چرخ را می‌چرخاند به انرژی گرمایی چرخ و آلت فلزی و انرژی جنبشی خرده‌فلزهایی که از آن آلت پرتاب شده‌اند، منتقل می‌شود؟

۹۹ شناگری با تندی متوسط ۰٫۲۲m/s حرکت می‌کند. نیروی پس‌کشی [مقاومت] متوسط وارد بر او ۱۱۰N است. شناگر به چه توان متوسطی برای شنا کردن نیاز دارد؟

۱۰۰ وزن اتومبیلی با سرنشینان آن ۱۶۴۰۰N است و وقتی راننده ترمز می‌کند، اتومبیل با تندی ۱۱۳km/h در حرکت است. بزرگی نیروی اصطکاکی که جاده بر چرخ‌ها وارد می‌کند ۸۲۳۰N است. فاصله‌ی توقف را به‌دست آورید.

۱۰۱ گلوله‌ای به جرم ۰٫۶۳kg با تندی اولیه‌ی ۱۴m/s مستقیماً رو به بالا پرتاب می‌شود و به ارتفاع بیشینه‌ی ۸٫۱m می‌رسد. در حین بالا رفتن گلوله تا رسیدن به این ارتفاع بیشینه، انرژی مکانیکی دستگاه گلوله – کره زمین چقدر تغییر می‌کند؟

۱۰۲ نوک قله‌ی اورست در ارتفاع ۸۸۵۰m بالاتر از سطح دریا قرار دارد. (الف) کوه‌نوردی به جرم ۹۰kg برای رسیدن به نوک قله از سطح دریا باید چه مقدار انرژی در مقابل نیروی گرانشی وارد بر او صرف کند؟ (ب) اگر انرژی هر شکلات برابر ۱٫۲۵MJ باشد، چند عدد شکلات انرژی معادل آن را تأمین خواهد کرد؟ پاسخ شما باید نشان دهد که کار انجام شده در برابر نیروی گرانشی، بخش بسیار کوچکی از انرژی صرف شده در صعود از یک کوه است.

۱۰۳ دونده‌ی دوی سرعتی به وزن ۶۷۰N با شروع از حال سکون و با شتابی یکنواخت، ۷٫۰m ابتدای مسابقه را در مدت ۱٫۶s می‌دود. (الف) تندی و (ب) انرژی جنبشی دونده در پایان این ۱٫۶s چقدر است؟ (پ) دونده چه توان متوسطی در حین این بازه‌ی ۱٫۶ ثانیه‌ای تولید کرده است؟

۱۰۴ بر جسمی به جرم ۲۰kg نیروی پایستار $F = -۳٫۰x - ۵٫۰x^۲$ وارد شده است، که در آن F برحسب نیوتون و x برحسب متر است. انرژی پتانسیل وابسته به این نیرو را وقتی که جسم در $x = ۰$ قرار دارد، برابر صفر اختیار می‌کنیم. (الف) وقتی که جسم در $x = ۲٫۰m$ است، انرژی پتانسیل دستگاه وابسته به این نیرو چقدر است؟ (ب) اگر وقتی که جسم در $x = ۵٫۰m$ است، دارای سرعت ۴٫۰m/s در جهت منفی محور x باشد، تندی آن هنگامی که از مبدأ عبور می‌کند چقدر است؟ (پ) اگر انرژی پتانسیل دستگاه را وقتی که جسم در $x = ۰$ است برابر $-۸٫۰J$ اختیار کنیم، پاسخ قسمت‌های (الف) و (ب) چگونه می‌شوند؟

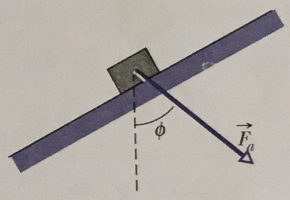
۱۰۵ ماشینی با وارد آوردن نیرویی به موازات یک شیب ۴۰°، چمدانی به جرم ۴۰kg را به اندازه‌ی ۲٫۰m با سرعت ثابت رو به بالا می‌کشد. ضریب اصطکاک جنبشی میان چمدان و سطح شیبدار ۰٫۴۰ است. (الف) کار انجام شده توسط نیروی ماشین روی چمدان و (ب) افزایش انرژی گرمایی چمدان و شیب چقدر است؟

۱۰۶ فنر یک تفنگ فنری اسباب‌بازی دارای ثابت فنر ۷۰۰N/m است. برای شلیک یک گلوله، نخست فنر را فشرده و سپس گلوله را روی آن جاسازی می‌کنیم. آنگاه ماشه‌ی تفنگ، فنر را آزاد می‌کند تا به گلوله‌ی داخل لوله‌ی تفنگ نیرو وارد آورد. وقتی تفنگ رو به بالا به اندازه‌ی ۳۰° نسبت به افق کج شده باشد، گلوله‌ای به جرم ۵۷g تا ارتفاع بیشینه‌ی ۱٫۸۳m بالای دهانه‌ی تفنگ شلیک می‌شود. فرض کنید پس‌کشی [مقاومت] هوای وارد بر گلوله ناچیز است. (الف) فنر با چه تندی‌ای گلوله را پرتاب می‌کند؟ (ب) با فرض آنکه اصطکاک وارد بر گلوله از طرف لوله‌ی تفنگ ناچیز باشد، مسافت فشردگی اولیه‌ی فنر را به‌دست آورید.

استفاده می‌شود که در ابتدا ساکن است. قطعه با شتاب ثابت رو به پایین $g/4$ پایین آورده می‌شود. هنگامی‌که قطعه به‌اندازه‌ی مسافت d پایین آمده است، مطلوب است (الف) کار انجام شده توسط نیروی ریسمان بر روی قطعه، (ب) کار انجام شده توسط نیروی گرانشی روی قطعه، (پ) انرژی جنبشی قطعه و (ت) تندی قطعه.

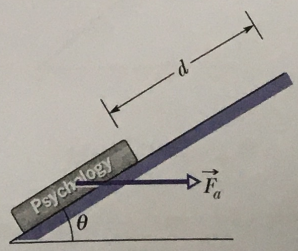
●● ۲۲ یک تیم نجات غارنوردی، غارنورد مجروحی را توسط یک کابل متحرک مستقیماً به بالا می‌کشد و او را از گودالی بیرون می‌آورد. بالا آوردن مجروح در سه مرحله صورت پذیرفته است که لازم است در هر مرحله مسافت قائم $10.0\,m$ طی شود: (الف) فرد مجروح که در ابتدا ساکن است تا تندی $5.00\,m/s$ شتابدار می‌شود؛ (ب) سپس با تندی ثابت $5.00\,m/s$ بالا برده می‌شود؛ (پ) و سرانجام تندی آن با یک شتاب کاهنده به صفر رسانده می‌شود. در حین هر مرحله، چقدر کار توسط نیروی بالابرنده روی مجروحی به جرم $80.0\,kg$ انجام شده است؟

●● ۲۳ در شکل ۷-۳۲، نیروی ثابت $\vec{F}_a$ به بزرگی $82.0\,N$ بر جعبه‌ی کفشی به جرم $3.00\,kg$ تحت زاویه‌ی $\phi = 53.0^\circ$ وارد شده و موجب حرکت رو به بالای این جعبه با تندی ثابت روی یک شیب بدون اصطکاک شده است. وقتی جعبه تا مسافت قائم $h = 0.150\,m$ حرکت کرده باشد، چقدر کار توسط $\vec{F}_a$ روی جعبه انجام شده است؟



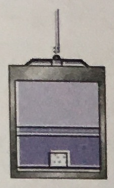
شکل ۷-۳۲ مسئله‌ی ۲۳

●● ۲۴ GO در شکل ۷-۳۳، نیروی افقی $\vec{F}_a$ به بزرگی $20.0\,N$ بر یک کتاب فیزیولوژی به جرم $3.00\,kg$ وارد شده است، طوری که کتاب مسافت $d = 0.500\,m$ را روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی با زاویه‌ی شیب $\theta = 30.0^\circ$ رو به بالا طی می‌کند. (الف) در حین این جابه‌جایی، کار خالص انجام شده روی کتاب توسط نیروی $\vec{F}_a$، نیروی گرانشی وارد بر کتاب و نیروی عمودی سطح وارد بر کتاب چقدر است؟ (ب) اگر انرژی جنبشی کتاب در آغاز این جابه‌جایی برابر با صفر باشد، تندی آن در پایان جابه‌جایی چقدر است؟



شکل ۷-۳۳ مسئله‌ی ۲۴

●●● ۲۵ GO در شکل ۷-۳۴، قالب پنیری به جرم $0.250\,kg$ بر کف اتاقک بالابری به جرم $900\,kg$ قرار دارد. اتاقک توسط کابلی نخست به‌اندازه‌ی مسافت $d_1 = 2.40\,m$ و سپس به‌اندازه‌ی مسافت $d_2 = 10.5\,m$ بالا کشیده می‌شود. (الف) اگر در طی مسافت d_1، نیروی عمودی سطح وارد بر قالب پنیر از سوی کف مقدار ثابت $F_N = 3.00\,N$ را داشته باشد، چقدر کار توسط کابل روی اتاقک انجام شده است؟ (ب) اگر در طی مسافت d_2، کار انجام شده روی اتاقک توسط نیروی (ثابت) کابل برابر با $92.61\,kJ$ باشد، بزرگی F_N چقدر است؟



شکل ۷-۳۴ مسئله‌ی ۲۵

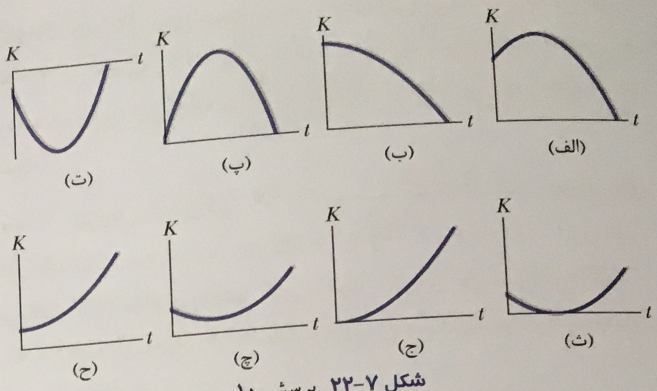
بخش ۷-۴ کار انجام شده توسط نیروی فنری

● ۲۶ در شکل ۷-۱۰، باید نیرویی به بزرگی $80\,N$ وارد کنیم تا قطعه در $x = -2.0\,cm$ به حالت سکون باقی بماند. آنگاه قطعه را از این مکان به‌آرامی حرکت می‌دهیم، طوری‌که نیروی ما $+4.0\,J$ کار روی دستگاه فنر- قطعه انجام دهد؛ سپس قطعه دوباره ساکن می‌شود. مکان قطعه در این لحظه چیست؟ (*راهنمایی*: دو پاسخ وجود دارد.)

● ۲۷ یک فنر و یک قطعه را در آرایشی مشابه شکل ۷-۱۰ در نظر بگیرید. وقتی قطعه رو به بیرون تا $x = +4.0\,cm$ کشیده شود، باید نیرویی به بزرگی $360\,N$ را برای نگه داشتن قطعه در آن مکان وارد کنیم. قطعه را تا $x = 11\,cm$ می‌کشیم و سپس رها می‌کنیم. وقتی قطعه از $x_i = 5.0\,cm$ به (الف) $x = +3.0\,cm$، (ب) $x = -3.0\,cm$، (پ) $x = -5.0\,cm$ و (ت) $x = -9.0\,cm$ حرکت کند، چقدر کار توسط فنر روی قطعه انجام می‌شود؟

● ۲۸ در طول ترم بهار در دانشگاه MIT، دانشجویان ساختمان‌های موازی خوابگاه پردیس شرقی با تیروکمان‌های بزرگی که از لوله‌های لاستیکی جراحی با اتصال به قاب پنجره‌ی خوابگاه ساخته بودند، با هم مبارزه می‌کردند. برای این کار بادکنک پُر از آب رنگی را در کیسه‌ای متصل به لوله‌ی پلاستیکی قرار می‌دادند و آن را به‌اندازه‌ی پهنای اتاق می‌کشیدند. فرض کنید کشش لوله‌ی پلاستیکی از قانون هوک پیروی می‌کند و ثابت فنر آن $100\,N/m$ است. اگر لوله‌ی پلاستیکی به اندازه‌ی $5.00\,m$ کشیده شده و سپس رها شود، نیروی لوله‌ی پلاستیکی تا زمانی‌که به طول واهلیدگی خود بازگردد، چقدر کار روی بادکنک داخل کیسه انجام می‌دهد؟

●● ۲۹ در آرایش شکل ۷-۱۰، قطعه را به‌تدریج از $x = 0$ تا



شکل ۷-۲۲ پرسش ۱۰

۱۱ در سه وضعیت، نیروی واحدی بر یک جسم متحرک وارد می‌شود. سرعت‌ها (در آن لحظه) و نیروها عبارتند از:

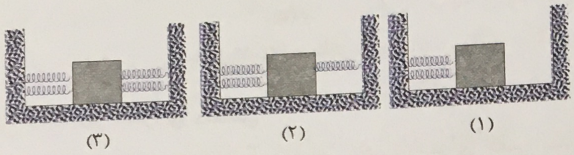
(۱) $\vec{v} = (-۴\hat{i})\,m/s$ ، $\vec{F} = (۶\hat{i} - ۲۰\hat{j})\,N$

(۲) $\vec{v} = (۲\hat{i} - ۳\hat{j})\,m/s$ ، $\vec{F} = (-۲\hat{j} + ۷\hat{k})\,N$

(۳) $\vec{v} = (-۳\hat{i} + \hat{j})\,m/s$ ، $\vec{F} = (۲\hat{i} + ۶\hat{j})\,N$

این سه وضعیت را بر طبق آهنگ انتقال انرژی به گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین انتقال انرژی به ذره در ابتدا و بیشترین انتقال انرژی از ذره در انتها قرار گیرد.

۱۲ شکل ۷-۲۳ سه آرایش از قطعه‌ای را نشان می‌دهد که به فنرهای مشابهی متصل شده‌اند. هنگامی که قطعه مانند شکل در وسط قرار داشته باشد، فنرها در طول واهلیده‌شان هستند. این آرایش‌ها را بر طبق بزرگی نیروی خالص وارد بر قطعه به گونه‌ای مرتب کنید که بزرگترین در ابتدا باشد، هرگاه قطعه به اندازه‌ی مسافت d (الف) به سمت راست و (ب) به سمت چپ جابه‌جا شود. این آرایش‌ها را بر طبق کار انجام شده روی قطعه توسط نیروهای فنری به‌گونه‌ای مرتب کنید که بزرگترین در ابتدا باشد، هرگاه قطعه به اندازه‌ی مسافت d (پ) به سمت راست و (ت) به سمت چپ جابه‌جا شود.



شکل ۷-۲۳ پرسش ۱۲

مسئله‌ها

GO حل با راهنمایی مرحله به مرحله (بسته به صلاحدید مدرّس) در *WileyPLUS* و WebAssign موجود است.

••• – • تعداد نقطه‌ها سطح دشواری مسئله را مشخص می‌کند.

ILW حل در

WWW حل به روش تعاملی در http://www.wiley.com/college/halliday داده شده است.

اطلاعات بیشتر در کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک و در *www.flyingcircusofphysics.com*

بخش ۷-۱ انرژی جنبشی

• ۱۰ پروتونی (به جرم $m = ۱٫۶۷\times۱۰^{-۲۷}\,kg$) بر راستای خط مستقیمی در یک ماشین شتابدهنده تا $۳٫۶\times۱۰^{۱۵}\,m/s^۲$ شتابدار شده است. اگر تندی اولیه‌ی پروتون $۲٫۴\times۱۰^{۷}\,m/s$ باشد و مسافت $۳٫۵\,cm$ را بپیماید، (الف) تندی و (ب) افزایش انرژی جنبشی آن چقدر می‌شود؟

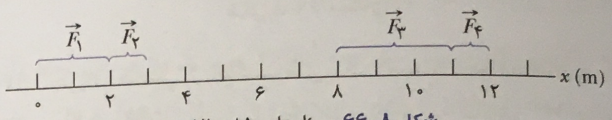
• ۲۰ اگر موشک *ساترن* V و فضاپیمای *آپولو*ی متصل به آن در مجموع دارای جرم $۲٫۹\times۱۰^{۵}\,kg$ باشد و به تندی $۱۲٫۲\,km/h$ رسیده باشد، انرژی جنبشی آن چقدر می‌شود؟

• ۳۰ در ۱۰ آگوست ۱۹۷۲، شهاب‌سنگ بزرگی ردّی در آسمان غرب ایالات متحده و غرب کانادا برجای گذاشت که بسیار شبیه به ردّی بود که یک سنگ بر روی آب برجای می‌گذارد. گوی آتشین همراه آن به‌قدری درخشان بود که می‌شد آن را در آسمان روز مشاهده کرد و از دنباله‌ی معمول یک شهاب‌سنگ نیز درخشان‌تر بود. جرم شهاب‌سنگ حدود $۴\times۱۰^{۶}\,kg$ و تندی آن در حدود $۱۵\,km/s$ بود. اگر این شهاب‌سنگ به‌طور قائم وارد جو شده بود، تقریباً با همین تندی به زمین برخورد می‌کرد. (الف) اتلاف انرژی جنبشی شهاب‌سنگ را (برحسب ژول) برای این برخورد قائم محاسبه کنید. (ب) این انرژی را برحسب مضربی از انرژی ۱ مگاتُن TNT که برابر با $۴٫۲\times۱۰^{۱۵}\,J$ است، بیان کنید. (پ) انرژی مربوط به انفجار بمب اتمی هیروشیما معادل با ۱۳ کیلوتن TNT بود. برخورد این شهاب‌سنگ با زمین معادل با انفجار چند بمب هیروشیما می‌شد؟

• ۴۰ انفجاری در سطح زمین، دهانه‌ای بر جای می‌گذارد که قطر آن متناسب با انرژی انفجار به توان $\frac{۱}{۳}$ است؛ انفجار یک مگاتن TNT، دهانه‌ای به قطر ۱km را بر جای می‌گذارد. در زیر *دریاچه‌ی هورُن*[1] در میشیگان، یک دهانه‌ی ضربه‌ای قدیمی به قطر ۵۰km وجود دارد. انرژی جنبشی وابسته به آن ضربه برحسب (الف) مگاتن TNT (۱ مگاتن TNT، $۴٫۲\times۱۰^{۱۵}\,J$ انرژی به‌دست می‌دهد) و (ب) معادل بمب‌های هیروشیما (۱۳ کیلوتن TNT برای هر بمب) چقدر است؟ (شهاب‌سنگ‌ها یا ستاره‌های دنباله‌داری که در قدیم به زمین برخورد کرده‌اند ممکن است آب و هوای کره زمین را به میزان چشمگیری تغییر داده باشند و در انقراض دایناسورها و سایر گونه‌های زیستی نقش بازی کرده باشند.)

1 Lake Huron

این راستا نیروهایی پایستار بر آن وارد می‌شوند (شکل ۸-۶۶ و جدول زیر را ببینید.) ذره در $x = ۵٫۰۰\,m$ با انرژی جنبشی $K = ۱۴٫۰\,J$ و انرژی پتانسیل $U = ۰$ رها می‌شود. اگر حرکت ذره در سوی منفی محور x باشد، (الف) K و (ب) U ذره در $x = ۲٫۰۰\,m$ و (پ) K و (ت) U ذره در $x = ۰$ چقدر است؟ اگر حرکت در سوی مثبت محور x باشد (ث) K و (ج) U ذره در $x = ۱۱٫۰\,m$ و (چ) K و (ح) U ذره در $x = ۱۲٫۰\,m$ و (خ) K (د) U ذره در $x = ۱۳٫۰\,m$ چقدر است؟ (ذ) نمودار $U(x)$ برحسب x را برای گستره‌ی $x = ۰$ تا $x = ۱۳٫۰\,m$ رسم کنید.



شکل ۸-۶۶ مسئله‌های ۸۱ و ۸۲

گستره		نیرو
۰	۲٫۰۰ m	$\vec{F}_۱ = +(۳٫۰۰\,N)\hat{i}$
۲٫۰۰ m	۳٫۰۰ m	$\vec{F}_۲ = +(۵٫۰۰\,N)\hat{i}$
۳٫۰۰ m	۸٫۰۰ m	$\vec{F} = ۰$
۸٫۰۰ m	۱۱٫۰ m	$\vec{F}_۳ = +(۳٫۰۰\,N)\hat{i}$
۱۱٫۰ m	۱۲٫۰ m	$\vec{F}_۴ = -(۱٫۰۰\,N)\hat{i}$
۱۲٫۰ m	۱۵٫۰ m	$\vec{F} = ۰$

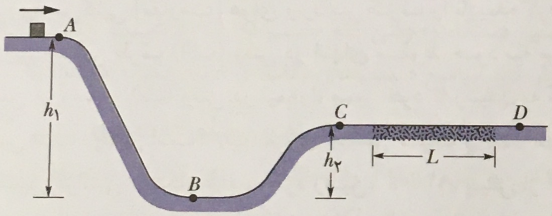
۸۲ در همان آرایش نیروهای مسئله‌ی ۸۱، جسم کوچکی به جرم $۲٫۰۰\,kg$ از $x = ۵٫۰۰\,m$ با سرعت اولیه‌ی $۳٫۴۵\,m/s$ در جهت منفی محور x رها شده است. (الف) اگر این جسم بتواند به $x = ۰\,m$ برسد، تندی‌اش در آنجا چقدر است؟ و اگر نتواند برسد، نقطه‌ی برگشت آن چیست؟ حال فرض کنید وقتی جسم در $x = ۵٫۰۰\,m$ با تندی $۳٫۴۵\,m/s$ رها می‌شود در سوی مثبت محور x حرکت می‌کند. (ب) اگر جسم بتواند به $x = ۵٫۰۰\,m$ برسد، تندی‌اش در آنجا چقدر است؟ و اگر نتواند، نقطه‌ی برگشت آن چیست؟

۸۳ قطعه‌ای به جرم $۱۵\,kg$ روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، شتابی برابر $۲٫۰\,m/s^۲$ می‌گیرد و تندی آن از $۱۰\,m/s$ به $۳۰\,m/s$ افزایش می‌یابد. (الف) تغییر در انرژی مکانیکی قطعه و (ب) آهنگ متوسطی که با آن انرژی به قطعه منتقل شده است، چقدر است؟ آهنگ لحظه‌ای انتقال انرژی، وقتی که تندی قطعه (پ) $۱۰\,m/s$ و (ت) $۳۰\,m/s$ است، چقدر است؟

۸۴ فنر خاصی از قانون هوک پیروی نمی‌کند. معلوم شده است وقتی این فنر به اندازه‌ی x (برحسب متر) کشیده شود، نیرویی (برحسب نیوتون) به بزرگی $۵۲٫۸x + ۳۸٫۴x^۲$ در خلاف جهت کشیدگی، وارد می‌کند. (الف) کار لازم برای کشیدن این فنر از $x = ۰٫۵۰۰\,m$ تا $x = ۱٫۰۰\,m$ را محاسبه کنید. (ب) یک سر فنر در جایی محکم شده است و در حالی که به سر دیگر آن قطعه‌ی کوچکی به جرم $۲٫۱۷\,kg$ متصل شده است، به اندازه‌ی $x = ۱٫۰۰\,m$ کشیده می‌شود. حال اگر قطعه را از حالت سکون رها کنیم، تندی آن در لحظه‌ای که کشیدگی فنر $x = ۰٫۵۰۰\,m$ است، چقدر می‌شود؟ (پ) آیا نیرویی که این فنر وارد می‌کند پایستار است یا ناپایستار؟ توضیح دهید.

۸۵ در هر ثانیه، $۱۲۰۰\,m^۳$ آب از بالای آبشاری به بلندی $۱۰۰\,m$ فرو می‌ریزد. سه- چهارم انرژی جنبشی به‌دست آمده از سقوط آب توسط یک مولد هیدروالکتریکی به انرژی الکتریکی منتقل می‌شود. این مولد با چه آهنگی انرژی الکتریکی تولید می‌کند؟ (جرم $۱\,m^۳$ آب برابر $۱۰۰۰\,kg$ است).

۸۶ GO در شکل ۸-۶۷، قطعه‌ی کوچکی از نقطه‌ی A با تندی $۷٫۰\,m/s$ روانه می‌شود. مسیر قطعه تا هنگامی که به بخشی به طول $L = ۱۲\,m$ برسد، که در آنجا ضریب اصطکاک جنبشی برابر $۰٫۷۰$ است، بدون اصطکاک است. ارتفاع‌های مشخص شده در شکل عبارت‌اند از $h_۱ = ۶٫۰\,m$ و $h_۲ = ۲٫۰\,m$. تندی قطعه در (الف) نقطه‌ی B و (ب) نقطه‌ی C چقدر است؟ (پ) آیا قطعه به نقطه‌ی D می‌رسد؟ اگر می‌رسد، تندی‌اش در آنجا چقدر است؟ و اگر نمی‌رسد، چه مسافتی را در بخشی که اصطکاک دارد، طی می‌کند؟



شکل ۸-۶۷ مسئله‌ی ۸۶

۸۷ گلوله‌ای به جرم m به یک سر میله‌ی صلب بدون جرمی به طول L متصل شده است (شکل ۸-۶۸). سر دیگر میله طوری لولا شده است که گلوله روی دایره‌ی قائمی حرکت کند. نخست فرض کنید هیچ اصطکاکی در محل لولا وجود ندارد. میله و گلوله از وضعیت افقی A با تندی اولیه‌ی $v_۰$ رو به پایین پرتاب می‌شوند. وقتی گلوله درست به نقطه‌ی D برسد، متوقف می‌شود. (الف) رابطه‌ای برحسب L، m و g برای $v_۰$ به‌دست آورید. (ب) وقتی گلوله از نقطه‌ی B می‌گذرد، کشش میله چقدر است؟ (پ) ماسه‌ی کوچکی در محل لولا گذاشته می‌شود تا اصطکاک را در آنجا افزایش دهد. اکنون اگر گلوله با همان تندی پیشین از نقطه‌ی A پرتاب شود، دقیقاً به نقطه‌ی C می‌رسد. در حین این حرکت، کاهش انرژی مکانیکی چقدر است؟ (ت) پس از اینکه گلوله بعد از چندین نوسان سرانجام در نقطه‌ی B متوقف شود، کاهش انرژی مکانیکی چقدر می‌شود؟

۴۶• اتاقک بارشده‌ی بالابری به جرم $۳٫۰\times۱۰^{۳}\,kg$ در مدت $۲۳\,s$ با تندی ثابت مسافت $۲۱۰\,m$ را بالا می‌رود. نیروی کابل با چه آهنگ متوسطی روی اتاقک کار انجام می‌دهد؟

۴۷•• ماشینی، در مدت $t=۱۲\,s$ بسته‌ای به جرم $۴٫۰\,kg$ را از مکان اولیه‌ی $\vec{d}_i=(۰٫۵۰\,m)\hat{i}+(۰٫۷۵\,m)\hat{j}+(۰٫۲۰\,m)\hat{k}$ در $t=۰$ به مکان نهایی $\vec{d}_f=(۷٫۵۰\,m)\hat{i}+(۱۲٫۰\,m)\hat{j}+(۷٫۲۰\,m)\hat{k}$ می‌رساند. نیروی ثابتی که توسط ماشین بر بسته وارد شده است عبارت است از $\vec{F}=(۲٫۰۰\,N)\hat{i}+(۴٫۰۰\,N)\hat{j}+(۶٫۰۰\,N)\hat{k}$. برای این جابه‌جایی (الف) کار انجام شده توسط نیروی وارد از ماشین بر بسته و (ب) توان متوسطی را که نیروی ماشین بر بسته وارد می‌آورد، به‌دست آورید.

۴۸•• ملاقه‌ای به جرم $۰٫۳۰\,kg$ که بر روی سطح افقی بدون اصطکاکی می‌لغزد به یک سر فنری افقی $(k=۵۰۰\,N/m)$ متصل شده است که سر دیگر آن در جایی محکم شده است. وقتی ملاقه از مکان تعادلش (نقطه‌ای که در آنجا نیروی فنری صفر است) می‌گذرد دارای انرژی جنبشی $۱۰\,J$ است. (الف) وقتی ملاقه از مکان تعادلش می‌گذرد فنر با چه آهنگی روی آن کار انجام می‌دهد؟ (ب) وقتی فنر به اندازه‌ی $۰٫۱۰\,m$ فشرده شود و ملاقه در حال دور شدن از مکان تعادل باشد، فنر با چه آهنگی روی ملاقه کار انجام می‌دهد؟

۴۹•• اتاقک پرشده‌ی یک بالابر باری به جرم کل $۱۲۰۰\,kg$ با شروع از حالت سکون، $۵۴\,m$ مسافت را در مدت $۳٫۰\,min$ رو به بالا طی می‌کند و سپس می‌ایستد. جرم وزنه‌ی تعادل فقط $۹۵۰\,kg$ است و بنابراین موتور بالابر باید به این کار کمک کند. توان متوسط مورد نیاز که موتور توسط کابل بر اتاقک وارد می‌کند چقدر است؟

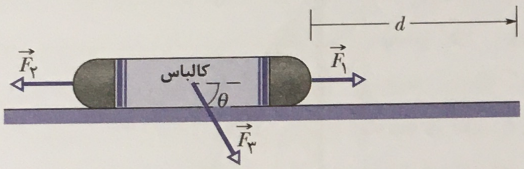
۵۰•• (الف) در یک لحظه‌ی معین، بر جسم ذره‌مانندی که در حال حرکت با سرعت $\vec{v}=-(۲٫۰\,m/s)\hat{i}+(۴٫۰\,m/s)\hat{k}$ است، نیروی $\vec{F}=(۴٫۰\,N)\hat{i}-(۲٫۰\,N)\hat{j}+(۹٫۰\,N)\hat{k}$ وارد می‌شود. این نیرو با چه آهنگ لحظه‌ای بر روی جسم کار انجام می‌دهد؟ (ب) در زمان دیگری، سرعت فقط دارای مؤلفه‌ی y است. اگر نیرو تغییر نکند و توان لحظه‌ای $-۱۲\,W$ باشد، سرعت جسم درست در آن لحظه چقدر است؟

۵۱•• نیروی $\vec{F}=(۳٫۰۰\,N)\hat{i}+(۷٫۰۰\,N)\hat{j}+(۷٫۰۰\,N)\hat{k}$ بر جسم متحرکی به جرم $۲٫۰۰\,kg$ وارد شده است که در مدت $۴٫۰۰\,s$ از مکان اولیه‌ی $\vec{d}_i=(۳٫۰۰\,m)\hat{i}-(۲٫۰۰\,m)\hat{j}+(۵٫۰۰\,m)\hat{k}$ به مکان نهایی $\vec{d}_f=(-۵٫۰۰\,m)\hat{i}-(۴٫۰۰\,m)\hat{j}+(۷٫۰۰\,m)\hat{k}$ می‌رود. مطلوب است (الف) کار انجام شده توسط نیروی وارد بر جسم در بازه‌ی زمانی $۴٫۰۰\,s$، (ب) توان متوسط ناشی از نیرو در حین آن بازه و (پ) زاویه‌ی میان بردارهای $\vec{d}_i$ و $\vec{d}_f$.

۵۲••• یک ماشین مسابقه‌ی فانتزی در طی مسافت معین مسابقه با موتوری که با توان ثابت P کار می‌کند در مدت زمان T شتاب می‌گیرد. اگر بتوان توان موتور را به اندازه‌ی جزء دیفرانسیلی dP افزایش داد، چه تغییری در زمان مورد نیاز مسابقه رخ می‌دهد؟

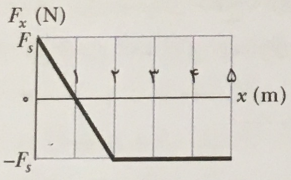
مسئله‌های تکمیلی

۵۳ شکل ۷-۴۲ بسته‌ی کالباسی را نشان می‌دهد که روی سطح افقی بدون اصطکاکی، در حالی‌که سه نیرو بر آن وارد می‌شود، به اندازه‌ی مسافت $d=۲۰٫۰\,cm$ به سمت راست می‌لغزد. دو تا از این نیروها افقی و بزرگی آن‌ها $F_۱=۵٫۰۰\,N$ و $F_۲=۱٫۰۰\,N$ است؛ سومین نیرو به بزرگی $F_۳=۴٫۰۰\,N$ و در جهت رو به پایین $\theta=۶۰٫۰^{\circ}$ است. (الف) به ازای جابه‌جایی $۲۰٫۰\,cm$، کار *خالص* انجام شده روی کالباس توسط سه نیروی وارد شده، نیروی گرانشی وارد بر کالباس و نیروی عمودی سطح وارد بر کالباس چقدر است؟ (ب) اگر جرم بسته‌ی کالباس $۲٫۰\,kg$ و انرژی جنبشی اولیه‌ی آن صفر باشد، تندی آن در پایان این جابه‌جایی چقدر است؟



شکل ۷-۴۲ مسئله‌ی ۵۳

۵۴ GO تنها نیروی وارد بر جسمی به جرم $۲٫۰\,kg$ هنگامی‌که جسم در راستای محور x در حرکت است، مطابق شکل ۷-۴۳ تغییر می‌کند. محور قائم با $F_x=۴٫۰\,N$ مقیاس‌بندی شده است. سرعت جسم در $x=۰$ برابر با $۴٫۰\,m/s$ است. (الف) انرژی جنبشی جسم در $x=۳٫۰\,m$ چقدر است؟ (ب) به ازای چه مقداری از x، انرژی جنبشی جسم $۸٫۰\,J$ خواهد شد؟ (پ) انرژی جنبشی بیشینه‌ی جسم بین $x=۰$ و $x=۵٫۰\,m$ چقدر است؟



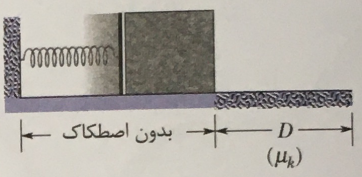
شکل ۷-۴۳ مسئله‌ی ۵۴

۵۵ اسبی با نیروی $۴۰\,lb$ تحت زاویه‌ی ۳۰° بالای افق، صندوقی را می‌کشد و در همان راستا با تندی $۶٫۰\,mi/h$ حرکت می‌کند. (الف) نیرو در مدت $۱۰\,min$ چقدر کار انجام می‌دهد؟ (ب) توان متوسط (برحسب اسب بخار) نیرو چقدر است؟

۵۶ جسمی به جرم $۲٫۰\,kg$ که در ابتدا ساکن است به‌طور افقی و به‌گونه‌ای یکنواخت در مدت $۳٫۰\,s$ تا تندی $۱۰\,m/s$ شتاب می‌گیرد. (الف) در این بازه‌ی $۳٫۰$ ثانیه‌ای، چقدر کار روی جسم

فنر در جایی محکم شده است. وقتی نان شیرمال از مکان تعادل فنر می‌گذرد، دارای انرژی جنبشی ۲۰٫۰J است. در حین لغزیدن نان، نیروی اصطکاکی به بزرگی ۱۰٫۰N بر آن وارد می‌شود. (الف) نان از مکان تعادل فنر تا پیش از رسیدن به سکون لحظه‌ای چقدر می‌لغزد؟ (ب) انرژی جنبشی نان وقتی که رو به عقب از مکان تعادل فنر می‌گذرد چقدر است؟

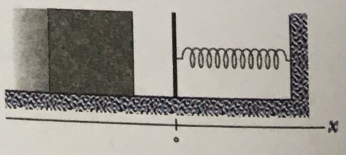
۵۲•• GO در شکل ۸-۵۲، قطعه‌ای به جرم ۳٫۵kg با فشردن فنری با ثابت فنر ۶۴۰N/m از حالت سکون شتاب گرفته است. وقتی فنر به طول واهلیده‌اش می‌رسد، قطعه از فنر جدا می‌شود و سپس روی یک سطح افقی با ضریب اصطکاک جنبشی $\mu_k = 0{,}25$ می‌لغزد. نیروی اصطکاک، قطعه را پس از طی مسافت $D = 7{,}8\text{m}$ متوقف می‌کند. (الف) افزایش انرژی گرمایی دستگاه قطعه-سطح، (ب) انرژی جنبشی بیشینه‌ی قطعه و (پ) طول فشردگی اولیه‌ی فنر چقدر است؟



شکل ۸-۵۲ مسئله‌ی ۵۳

۵۴•• بچه‌ای به وزن ۲۶۷N از سرسره‌ای به طول ۶٫۱m که با افق زاویه‌ی ۲۰° می‌سازد، سُر می‌خورد. ضریب اصطکاک جنبشی میان سرسره و بچه ۰٫۱۰ است. (الف) چقدر انرژی گرمایی منتقل شده است؟ (ب) اگر بچه از بالای سرسره با تندی ۰٫۴۵۷m/s شروع کند، تندی او در پایین سرسره چقدر می‌شود؟

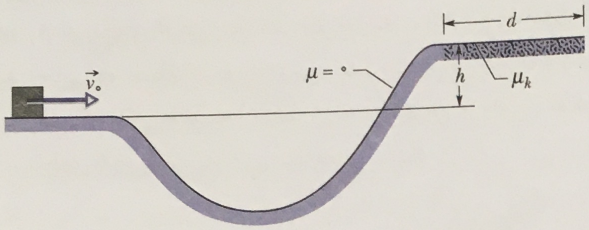
۵۵•• ILW در شکل ۸-۵۳، قطعه‌ای به جرم $m = 2{,}5\text{kg}$ به سوی فنری با ثابت فنر $k = 320\text{N/m}$ می‌لغزد. وقتی قطعه متوقف شود، فنر را به اندازه‌ی ۷٫۵cm فشرده می‌کند. ضریب اصطکاک جنبشی میان قطعه و سطح ۰٫۲۵ است. از لحظه‌ی تماس قطعه با فنر تا هنگام توقف آن (الف) کار انجام شده توسط نیروی فنری و (ب) افزایش انرژی گرمایی دستگاه قطعه – سطح چقدر است؟ (پ) تندی قطعه درست در لحظه‌ی رسیدن به فنر چقدر است؟



شکل ۸-۵۳ مسئله‌ی ۵۵

۵۶•• قطعه‌ای به جرم ۲٫۰kg را به فنر افقی مقابل آن می‌فشاریم و فنر را به اندازه‌ی ۱۵cm فشرده می‌کنیم. سپس قطعه را رها می‌کنیم، تا فنر آن را روی میز بلغزاند. قطعه پس از طی مسافت ۷۵cm از محلّ رها شدن، متوقف می‌شود. ثابت فنر برابر ۲۰۰N/m است. ضریب اصطکاک جنبشی میان قطعه و میز چقدر است؟

۵۷•• GO در شکل ۸-۵۴، قطعه‌ای با عبور از یک دره‌ی میانی، از یک سطح به سطحی بالاتر می‌لغزد. مسیر تا رسیدن قطعه به سطح بالاتر، بدون اصطکاک است. در آنجا، نیروی اصطکاک وارد بر قطعه، آن را پس از طی مسافت d متوقف می‌کند. تندی اولیه‌ی v_0 قطعه برابر ۶٫۰m/s، اختلاف بلندی h دو سطح برابر ۱٫۱m و μ_k برابر ۰٫۶۰ است. d را به‌دست آورید.



شکل ۸-۵۴ مسئله‌ی ۵۷

۵۸•• جعبه‌ی سوهانی روی شیبی ۴۰°، رو به بالا حرکت داده می‌شود. در نقطه‌ای به فاصله‌ی ۵۵cm از پایین شیب (که روی شیب اندازه‌گیری شده است)، تندی جعبه ۱٫۴m/s است. (الف) جعبه تا چه مسافت بیشتری بر شیب، رو به بالا حرکت می‌کند؟ (ب) سرعت جعبه موقع برگشت در پایین شیب چقدر است؟ (پ) اگر ضریب اصطکاک جنبشی را کاهش دهیم (ولی تندی یا مکان داده شده را تغییر ندهیم) آیا پاسخ‌های (الف) و (ب) افزایش می‌یابند یا کاهش، یا بدون تغییر باقی می‌مانند؟

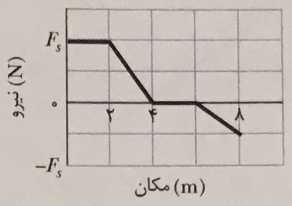
۵۹•• سنگی به وزن ۵٫۲۹N به‌طور قائم با تندی اولیه‌ی ۲۰٫۰m/s از سطح زمین پرتاب شده است. نیروی پس‌کشی[مقاومت] هوای وارد بر سنگ در حین پرواز ۰٫۲۶۵N است. (الف) ارتفاع بیشینه‌ای که سنگ به آن می‌رسد و (ب) تندی آن درست پیش از برخورد با زمین چقدر است؟

۶۰•• بسته‌ای به جرم ۴٫۰kg با انرژی جنبشی ۱۲۸J شروع به بالا رفتن از شیبی ۳۰° می‌کند. اگر ضریب اصطکاک جنبشی میان‌بسته و سطح شیبدار ۰٫۳۰ باشد، بسته چقدر روی شیب بالا خواهد رفت؟

۶۱•• وقتی سوسک *صدادار*[1] به پشت وارونه شود، قوسی به کمر خود می‌دهد و ناگهان رو به بالا می‌جهد و به این ترتیب انرژی ذخیره شده در ماهیچه را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. این سازوکار پرتابی، صدای تیز و قابل شنیدنی را ایجاد می‌کند که نام این سوسک از همان گرفته شده است. تصویر ویدئویی نمونه‌ای از پرش یک سوسک صدادار نشان می‌دهد که در حین پرتاب، سوسکی به جرم $m = 4{,}0\times10^{-6}\text{ kg}$، نخست به اندازه‌ی

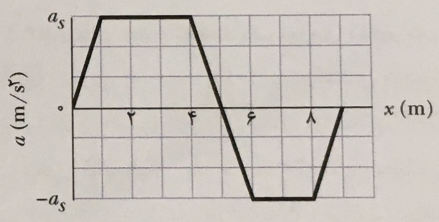
[1] Click beetle

شکل ۷-۳۹ با مکان تغییر می‌کند، بر خط مستقیمی روی سطح بدون اصطکاکی در حرکت است. محور قائم شکل با $F_s = 10/0\,\text{N}$ مقیاس‌بندی شده است. وقتی قطعه از مبدأ تا $x = 8/0\,\text{m}$ حرکت کند، چقدر کار توسط نیروی وارد بر آن انجام می‌شود؟



شکل ۷-۳۹ مسئله‌ی ۳۶

●● ۳۷ GO شکل ۷-۴۰ شتاب ذره‌ای به جرم $2/00\,\text{kg}$ را نشان می‌دهد که تحت تأثیر نیروی خارجی $\vec{F}_a$ از حالت سکون بر راستای محور x از $x = 0$ تا $x = 9/0\,\text{m}$ حرکت کرده است. محور قائم شکل با $a_s = 6/0\,\text{m/s}^2$ مقیاس‌بندی شده است. وقتی ذره به (الف) $x = 4/0\,\text{m}$، (ب) $x = 7/0\,\text{m}$ و (پ) $x = 9/0\,\text{m}$ می‌رسد، این نیرو چقدر کار روی ذره انجام داده است؟ وقتی ذره به (ت) $x = 4/0\,\text{m}$، (ث) $x = 7/0\,\text{m}$ و (ج) $x = 9/0\,\text{m}$ برسد، تندی و جهت حرکت آن چیست؟



شکل ۷-۴۰ مسئله‌ی ۳۷

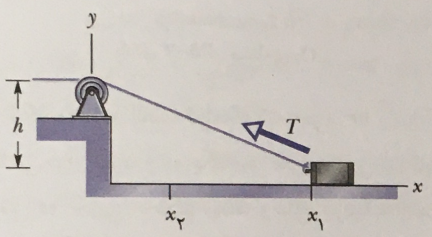
●● ۳۸ بر قطعه‌ای به جرم $1/5\,\text{kg}$ که در ابتدا روی سطح افقی بدون اصطکاکی ساکن است، نیرویی افقی در راستای محور x وارد می‌شود. این نیرو با $\vec{F}(x) = (2/5 - x^2)\hat{i}\,\text{N}$ داده شده است، که x برحسب متر و مکان اولیه‌ی قطعه $x = 0$ است. (الف) انرژی جنبشی قطعه را وقتی از $x = 2/0\,\text{m}$ می‌گذرد تعیین کنید؟ (ب) بیشینه‌ی انرژی جنبشی قطعه بین $x = 0$ و $x = 2/0\,\text{m}$ چقدر است؟

●● ۳۹ GO نیروی $\vec{F} = (cx - 3/00x^2)\hat{i}$، که در آن $\vec{F}$ برحسب نیوتون، x برحسب متر و c ثابت است، بر ذره‌ای که در راستای محور x حرکت می‌کند، وارد می‌شود. انرژی جنبشی ذره در $x = 0$ برابر با $20/0\,\text{J}$ و در $x = 3/00\,\text{m}$ برابر با $11/0\,\text{J}$ است. c را به‌دست آورید.

●● ۴۰ یک قوطی ساردین توسط نیرویی که بزرگی آن با $F = \exp(-4x^2)$ داده شده است، با x برحسب متر و F برحسب نیوتون، در راستای محور x از $x = 0/25\,\text{m}$ تا $x = 1/25\,\text{m}$ حرکت داده می‌شود. این نیرو چقدر کار روی قوطی انجام داده است؟

●● ۴۱ تک نیرویی بر جسم ذره‌مانندی به جرم $3/0\,\text{kg}$ چنان اثر می‌کند که مکان جسم برحسب تابعی از زمان با $x = 3/0t - 4/0t^2 + 1/0t^3$ داده می‌شود، که در آن x برحسب متر و t برحسب ثانیه است. کار انجام شده توسط نیروی وارد بر جسم را از $t = 0$ تا $t = 4/0\,\text{s}$ به‌دست آورید.

●●● ۴۲ GO شکل ۷-۴۱ ریسمان متصل به ارابه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند بر روی ریل افقی بدون اصطکاکی در راستای محور x حرکت کند. انتهای چپ ریسمان از روی قرقره‌ای با جرم و اصطکاک ناچیز در ارتفاع $h = 1/20\,\text{m}$ ریسمان گذشته است، به‌طوری که ارابه می‌تواند از $x_1 = 3/00\,\text{m}$ تا $x_2 = 1/00\,\text{m}$ بلغزد. در حین این حرکت، کشش ریسمان دارای مقدار ثابت $25/0\,\text{N}$ است. تغییر انرژی جنبشی ارابه در حین این حرکت چقدر است؟



شکل ۷-۴۱ مسئله‌ی ۴۲

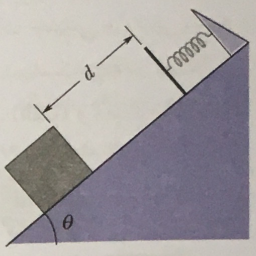
بخش ۷-۶ توان

● ۴۳ نیرویی به بزرگی $5/0\,\text{N}$ بر جسمی به جرم $15\,\text{kg}$ که در ابتدا ساکن است وارد می‌شود. کار انجام شده توسط این نیرو را (الف) در نخستین ثانیه، (ب) در دومین ثانیه و (پ) در سومین ثانیه محاسبه کنید. (ت) توان لحظه‌ای ناشی از این نیرو در پایان سومین ثانیه چقدر است؟

● ۴۴ اسکی‌بازی روی شیب بدون اصطکاکی که با افق زاویه‌ی 12° می‌سازد، به کمک طناب یدک‌کشی که موازی شیب، با تندی ثابت $1/0\,\text{m/s}$ حرکت می‌کند به بالا کشیده می‌شود. برای آنکه اسکی‌باز مسافت $8/0\,\text{m}$ را روی سطح شیبدار بالا رود، نیروی طناب کاری برابر با $900\,\text{J}$ روی او انجام می‌دهد. (الف) اگر طناب با تندی $2/0\,\text{m/s}$ حرکت کند، نیروی طناب چقدر کار روی اسکی‌باز انجام می‌دهد؟ وقتی طناب با تندی (ب) $1/0\,\text{m/s}$ و (پ) $2/0\,\text{m/s}$ حرکت کند، نیروی طناب با چه آهنگی روی اسکی‌باز کار انجام می‌دهد؟

● ۴۵ ILW قطعه‌ای به جرم $100\,\text{kg}$ با تندی ثابت $5/0\,\text{m/s}$ توسط نیرویی به بزرگی $122\,\text{N}$ که جهتش 37° بالای افق است، روی یک سطح افقی کشیده می‌شود. نیرو با چه آهنگی روی قطعه کار انجام می‌دهد؟

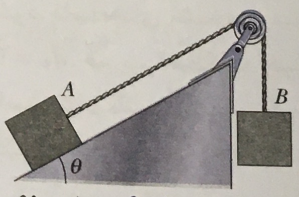
۶۷ فنری (با ثابت فنر $k = ۲۰۰\,N/m$) در بالای سطح شیبدار بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $\theta = ۴۰^\circ$ محکم شده است (شکل ۸-۵۹). قطعه‌ای به جرم $۱٫۰\,kg$ از مکان اولیه‌اش که به فاصله‌ی $d = ۰٫۶۰\,m$ از انتهای فنر واهلیده است، با انرژی جنبشی اولیه‌ی $۱۶\,J$ رو به بالای شیب پرتاب می‌شود. (الف) در لحظه‌ای که قطعه، فنر را به اندازه‌ی $۰٫۲۰\,m$ فشرده کرده است، انرژی جنبشی آن چقدر است؟ (ب) برای آنکه قطعه، به‌هنگام فشرده شدن فنر به‌اندازه‌ی $۰٫۴۰\,m$ به‌طور لحظه‌ای متوقف شود، باید انرژی جنبشی آن در موقع پرتاب چقدر باشد؟



شکل ۸-۵۹ مسئله‌ی ۶۷

۶۸ پرتابه‌ای به جرم $۰٫۵۵\,kg$ از لبه‌ی صخره‌ای، با انرژی جنبشی اولیه‌ی $۱۵۵۰\,J$ پرتاب می‌شود. جابه‌جایی بیشینه‌ی رو به بالای پرتابه نسبت به نقطه‌ی پرتاب برابر با $+۱۴۰\,m$ است. (الف) مؤلفه‌ی افقی و (ب) مؤلفه‌ی قائم سرعت پرتابه در لحظه‌ی پرتاب چقدر است؟ (پ) در لحظه‌ای که مؤلفه‌ی قائم سرعت پرتابه $۶۵\,m/s$ است، جابه‌جایی قائم آن از نقطه‌ی پرتاب چقدر است؟

۶۹ در شکل ۸-۶۰، جرم قرقره ناچیز است و قرقره و سطح هر دو بدون اصطکاک‌اند. جرم قطعه‌ی A برابر $۱٫۰\,kg$، جرم قطعه‌ی B برابر $۲٫۰\,kg$ و زاویه‌ی θ برابر ۳۰° است. اگر قطعه‌ها که با ریسمان محکمی به هم متصل شده‌اند از حالت سکون رها شوند، وقتی قطعه‌ی B به اندازه‌ی $۲۵\,cm$ سقوط کند، انرژی جنبشی کل آن‌ها چقدر می‌شود؟

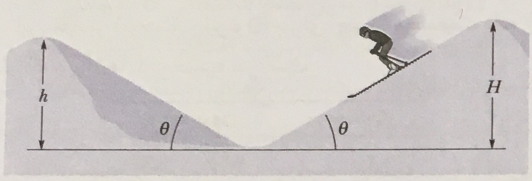


شکل ۸-۶۰ مسئله‌ی ۶۹

۷۰ GO در شکل ۸-۳۸، به یک سر ریسمانی به طول $L = ۱۲۰\,cm$ گلوله‌ای متصل شده و سر دیگر آن در جایی محکم شده است. میخی در نقطه‌ی P کوبیده شده است. گلوله با رها شدن از حالت سکون تا لحظه‌ای که ریسمان به میخ گیر کند رو به پایین تاب می‌خورد و سپس حول میخ، رو به بالا می‌چرخد. برای اینکه گلوله کاملاً به دور میخ بچرخد، مسافت d باید از چه مقداری بیش‌تر باشد، (*راهنمایی:* گلوله باید همچنان در بالاترین نقطه‌ی تاب خوردن خود در حرکت باشد، آیا می‌دانید چرا؟)

۷۱ در شکل ۸-۵۱ قطعه‌ای رو به پایین بر شیب بدون اصطکاکی لغزانده می‌شود. تندی آن در نقاط A و B به ترتیب $۲٫۰۰\,m/s$ و $۲٫۶۰\,m/s$ است. پس از آن، قطعه دوباره رو به پایین بر شیب لغزانده می‌شود، ولی این‌بار تندی آن در نقطه‌ی A برابر $۴٫۰۰\,m/s$ می‌شود. این‌بار تندی آن در نقطه‌ی B چقدر است؟

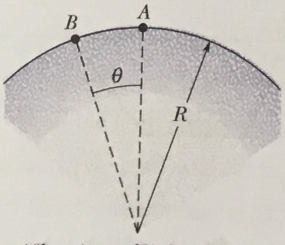
۷۲ دو قله‌ی برفی به بلندی‌های $H = ۸۵۰\,m$ و $h = ۷۵۰\,m$، بر فراز دره‌ای واقع‌اند که در میانه‌ی آن‌ها قرار گرفته است. یک مسیر اسکی به طول کلّ $۳٫۲\,km$ و شیب میانگین $\theta = ۳۰^\circ$ میان این دو قله امتداد یافته است (شکل ۸-۶۱). (الف) اسکی‌باز از حالت سکون و از نوک قله‌ی بلندتر شروع می‌کند. اگر او از چوب‌اسکی استفاده نکند و اصطکاک ناچیز باشد، با چه تندی‌ای به نوک قله‌ی کوتاه‌تر می‌رسد؟ (ب) به‌طور تقریبی، ضریب اصطکاک جنبشی میان برف و چوب‌اسکی‌ها باید چقدر باشد تا او درست در نوک قله‌ی کوتاه‌تر متوقف شود؟



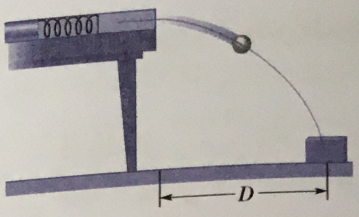
شکل ۸-۶۱ مسئله‌ی ۷۲

۷۳ دمای یک مکعب پلاستیکی را پس از اینکه توسط نیروی افقی $۱۵\,N$ به اندازه‌ی $۳٫۰\,m$ روی سطحی با تندی ثابت هل داده می‌شود، اندازه می‌گیریم. انرژی گرمایی مکعب به‌اندازه‌ی $۲۰\,J$ افزایش یافته است. افزایش انرژی گرمایی سطحی که مکعب روی آن لغزیده است، چقدر است؟

۷۴ اسکی‌بازی به وزن $۶۰۰\,N$ روی تپه‌ی دایره‌ای بدون اصطکاکی به شعاع $R = ۲۰\,m$ اسکی می‌کند (شکل ۸-۶۲). فرض کنید اثر پس‌کشی [مقاومت] هوا روی اسکی‌باز ناچیز است. وقتی او به نقطه‌ی B، در زاویه‌ی $\theta = ۲۰^\circ$ می‌رسد، تندی او برابر $۸٫۰\,m/s$ است. (الف) اگر او بدون استفاده از چوب‌اسکی حرکت کند، تندی‌اش در نوک تپه (نقطه‌ی A) چقدر است؟ (ب) تندی کمینه‌ای که او باید در نقطه‌ی B داشته باشد تا باز به نوک تپه برسد چقدر است؟ (پ) اگر وزن اسکی‌باز $۷۰۰\,N$ باشد، آیا پاسخ دو پرسش بالا، افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟



شکل ۸-۶۲ مسئله‌ی ۷۴

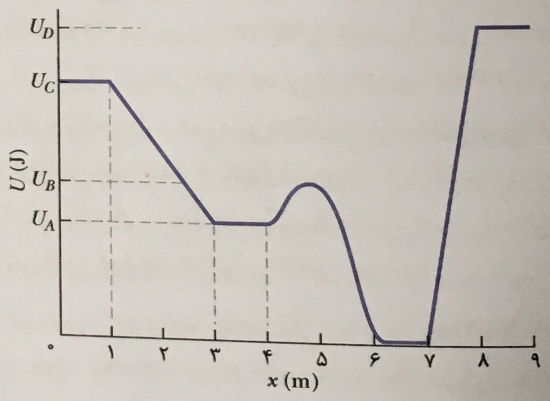


شکل ۸-۴۸ مسئله‌ی ۳۶

●●● ۳۷ ریسمان یکنواختی به‌طول ۲۵cm و جرم ۱۵g در ابتدا به سقف چسبیده است. سپس درحالی‌که فقط یک سرِ آن به سقف چسبیده است، به‌طور عمودی از سقف آویزان می‌شود. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی ریسمان بر اثر تغییر سمتگیری چقدر است؟ (*راهنمایی:* یک عنصر دیفرانسیلی از ریسمان را درنظر بگیرید و سپس از حساب انتگرال استفاده کنید.)

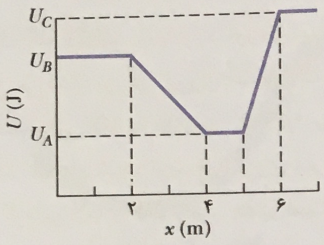
بخش ۸-۳ تفسیر منحنی انرژی پتانسیل

●●● ۳۸ شکل ۸-۴۹ نموداری از انرژی پتانسیل U را برحسب مکان x ذره‌ای به جرم ۰٫۲۰۰kg نشان می‌دهد که می‌تواند فقط در راستای محور x تحت تأثیر نیرویی پایستار حرکت کند. مقادیر روی منحنی عبارت‌اند از: $U_A = 9{,}00\,\text{J}$، $U_C = 20{,}00\,\text{J}$ و $U_D = 24{,}00\,\text{J}$. ذره از نقطه‌ای که U به شکل یک "تپه‌ی پتانسیل" به "بلندی" $U_B = 12{,}00\,\text{J}$ است با انرژی جنبشی 4٫00J رها می‌شود. تندی ذره در (الف) $x = 3{,}5\,\text{m}$ و (ب) $x = 6{,}5\,\text{m}$ چقدر است؟ مکان نقطه‌ی برگشت (پ) در سمت راست و (ت) در سمت چپ چقدر است؟



شکل ۸-۴۹ مسئله‌ی ۳۸

●●● ۳۹ GO شکل ۸-۵۰ نمودار انرژی پتانسیل U را برحسب مکان x ذره‌ای به‌جرم ۰٫۹۰kg نشان می‌دهد که می‌تواند فقط در راستای محور x حرکت کند (نیروهای ناپایستار وارد نشده‌اند.) سه مقدار روی محور قائم عبارت‌اند از $U_A = 15{,}0\,\text{J}$، $U_B = 35{,}0\,\text{J}$ و $U_C = 45{,}0\,\text{J}$. ذره در $x = 4{,}5\,\text{m}$ با تندی اولیه‌ی 7٫0m/s، در سوی منفی x رها می‌شود. (الف) اگر ذره بتواند به $x = 1{,}0\,\text{m}$ برسد، تندی آن در آنجا چقدر است و اگر نتواند برسد، نقطه‌ی برگشت آن چیست؟ (ب) بزرگی و (پ) جهت نیروی وارد بر ذره وقتی شروع به حرکت به سمت چپ $x = 4{,}0\,\text{m}$ می‌کند، چیست؟ حال فرض کنید، ذره در $x = 4{,}5\,\text{m}$ با تندی 7٫0m/s، ولی این بار در سوی مثبت محور x رها شود. (ت) اگر ذره بتواند به $x = 7{,}0\,\text{m}$ برسد، تندی آن در آنجا چقدر است؟ و اگر نتواند برسد، نقطه‌ی برگشت آن چیست؟ (ث) بزرگی و (ج) جهت نیروی وارد بر ذره در لحظه‌ای که شروع به حرکت به سمت راست $x = 5{,}0\,\text{m}$ می‌کند، چیست؟



شکل ۸-۵۰ مسئله‌ی ۳۹

●●● ۴۰ انرژی پتانسیل یک مولکول دو اتمی (یک دستگاه دو اتمی مانند H_2 یا O_2) چنین داده می‌شود

$$U = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^{6}}$$

که در آن r فاصله‌ی میان دو اتم مولکول و A و B ثابت‌هایی مثبت‌اند. این انرژی پتانسیل، به نیرویی که دو اتم را به یکدیگر پیوند می‌دهد، وابسته است. (الف) *فاصله‌ی تعادل*- یعنی، فاصله‌ای میان دو اتم که در آن نیروی وارد بر هر اتم صفر است- را بیابید. اگر فاصله‌ی میان آن‌ها (ب) کمتر و (پ) بیشتر از فاصله‌ی تعادل باشد، آیا نیرو رانشی است (اتم‌ها از هم دور می‌شوند) یا ربایشی (اتم‌ها به هم نزدیک می‌شوند)؟

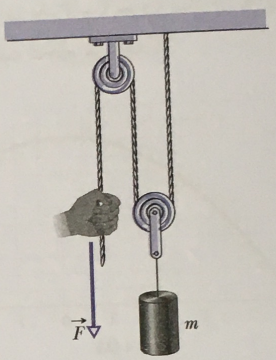
●●● ۴۱ تک‌نیروی پایستار $F(x)$ روی ذره‌ای به جرم ۱٫۰kg وارد شده است که در راستای محور x حرکت می‌کند. انرژی پتانسیل $U(x)$ وابسته به $F(x)$ چنین داده شده است

$$U(x) = -4xe^{-x/4}\,\text{J}$$

که در آن x برحسب متر است. در $x = 5{,}0\,\text{m}$، انرژی جنبشی ذره برابر با ۲٫۰J است. (الف) انرژی مکانیکی دستگاه چقدر است؟ (ب) نمودار $U(x)$ را به صورت تابعی از x در بازه‌ی $0 \le x \le 10\,\text{m}$ رسم کنید و روی آن خطی را بکشید که نمایانگر انرژی مکانیکی دستگاه باشد. با استفاده از قسمت (ب) مقدار (پ) کمینه‌ی x و (ت) بیشینه‌ی x را که ذره بین آن دو می‌تواند حرکت کند به‌دست آورید. (ث) با استفاده از قسمت (ب) انرژی جنبشی بیشینه‌ی ذره را به‌دست آورید و (ج) مقدار x را در آن لحظه تعیین کنید. (چ) رابطه‌ای برای $F(x)$ برحسب x به‌دست آورید که در آن

(ب) به‌طور افقی حرکت کند و (پ) از شیب ۱۰° پایین آید، نیروی تسمه‌نقاله با چه آهنگی روی جعبه کار انجام می‌دهد؟

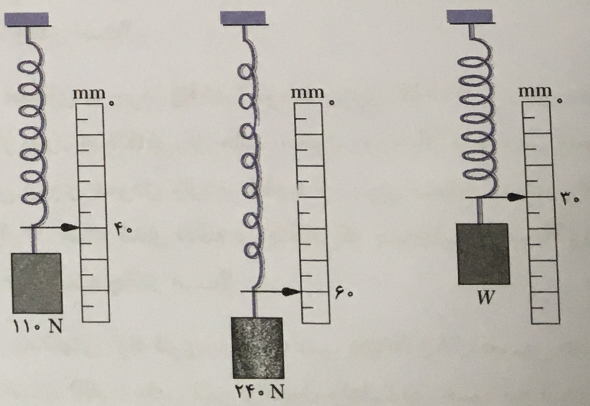
۶۵ در شکل ۷-۴۷، ریسمانی از دور دو قرقره‌ی بدون جرم و بدون اصطکاک می‌گذرد. استوانه‌ای به جرم $m = 20\,kg$ از یکی از قرقره‌ها آویزان است و شما نیروی $\vec{F}$ را بر سرِ آزاد ریسمان وارد می‌کنید. (الف) اگر بخواهید استوانه را با تندی ثابت بالا بکشید، بزرگی $\vec{F}$ باید چقدر باشد؟ (ب) برای بالا بردن استوانه به اندازه‌ی $2.0\,cm$ طرف آزاد ریسمان را باید چقدر بکشید؟ در حین بالا رفتن استوانه، کار انجام شده توسط (پ) نیروی شما (از طریق ریسمان) و (ت) نیروی گرانشی روی استوانه چقدر است؟ (*راهنمایی:* وقتی ریسمانی را به دور قرقره‌ای مشابه شکل بپیچید، ریسمان با نیروی خالصی که دو برابر کشش ریسمان است، قرقره را می‌کشد.)



شکل ۷-۴۷ مسئله‌ی ۶۵

۶۶ اگر اتومبیلی به جرم $1200\,kg$ در بزرگراهی با $120\,km/h$ حرکت کند، انرژی جنبشی آن از دید شخصی که در کنار بزرگراه ایستاده، چقدر است؟

۶۷ فنری که عقربه‌ای به آن متصل است، در کنار خط‌کشی که برحسب میلی‌متر نشانه‌گذاری شده، آویزان است. همان‌طور که در شکل ۷-۴۸ نشان داده شده است، سه بسته‌ی مختلف را به ترتیب از فنر می‌آویزیم. (الف) وقتی هیچ بسته‌ای به فنر متصل نیست، عقربه چه عددی را روی خط‌کش نشان می‌دهد؟ (ب) وزن Wی بسته‌ی سوم چقدر است؟



شکل ۷-۴۸ مسئله‌ی ۶۷

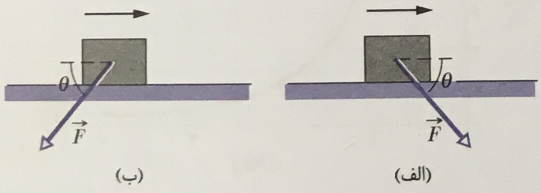
۶۸ یک قایق یخی در لحظه‌ای که بادی ناگهانی نیروی ثابت $200\,N$ را رو به سمت شرق بر آن وارد می‌آورد، روی یک دریاچه‌ی یخ‌زده‌ی بدون اصطکاک ساکن است. جهت‌گیری بادبان به‌گونه‌ای است که نیروی باد، قایق را در راستای خطی مستقیم و در جهت ۲۰° شمال شرق به اندازه‌ی مسافت $8.0\,m$ می‌راند. انرژی جنبشی قایق در پایان این $8.0\,m$ چقدر است؟

۶۹ اگر بالابری بخواهد ۱۰۰ اسکی‌باز با وزن میانگین $660\,N$ را در مدت $60.0\,s$ با تندی ثابت تا ارتفاع $150\,m$ بالا ببرد، توان متوسط لازم برای نیروی بالابرنده چقدر است؟

۷۰ وقتی ذره‌ای جابه‌جایی $\vec{d} = (3.0\,m)\hat{i} - (2.0\,m)\hat{j}$ را انجام می‌دهد، نیروی $\vec{F} = (4.0\,N)\hat{i} + c\hat{j}$ بر آن اثر می‌کند. (نیروهای دیگری نیز بر ذره وارد می‌شوند.) اگر کار انجام شده روی ذره توسط نیروی $\vec{F}$ برابر با (الف) ۰، (ب) $17\,J$ و (پ) $-18\,J$ باشد، مقدار c چقدر است؟

۷۱ نیروی ثابتی به بزرگی $10\,N$ که با سوی مثبت محور x زاویه‌ی ۱۵۰° (به‌طور پادساعتگرد) می‌سازد بر جسمی به جرم $2.0\,kg$ که در صفحه‌ی xy حرکت می‌کند، وارد می‌شود. وقتی جسم از مبدأ به نقطه‌ای با بردار مکان $(2.0\,m)\hat{i} - (4.0\,m)\hat{j}$ برود، چقدر کار توسط این نیرو انجام می‌شود؟

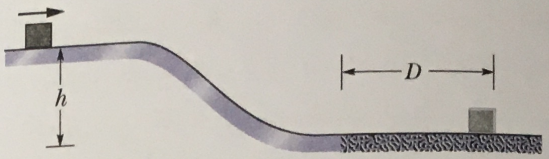
۷۲ در شکل ۷-۴۹ الف، نیرویی به بزرگی $2.0\,N$ در جهت رو به پایینِ θ بر قطعه‌ای به جرم $4.0\,kg$ وارد شده است، طوری که قطعه مسافت $1.0\,m$ را روی سطح بدون اصطکاکی به سمت راست طی می‌کند. اگر سرعت اولیه‌ی قطعه (الف) صفر و (ب) $1.0\,m/s$ رو به سمت راست باشد، رابطه‌ای برای تندی v_f قطعه در پایان آن مسافت پیدا کنید. (پ) وضعیت شکل ۷-۴۹ ب مانند حالتی است که قطعه در ابتدا با سرعت $1.0\,m/s$ رو به سمت راست حرکت می‌کرد، ولی با این تفاوت که اکنون نیروی رو به پایین $2.0\,N$ به سمت چپ وارد شده است. رابطه‌ای را برای تندی v_f قطعه در پایان مسافت $1.0\,m$ پیدا کنید. (ت) هر سه رابطه‌ی به‌دست آمده برای v_f را برحسب زاویه‌ی رو به پایین θ در گستره‌ی $\theta = 0$ تا $\theta = 90°$ رسم و این نمودارها را تفسیر کنید.



شکل ۷-۴۹ مسئله‌ی ۷۲

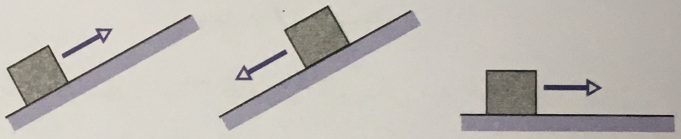
۷۳ نیروی $\vec{F}$ در سوی مثبت محور x بر جسمی که در راستای این محور حرکت می‌کند وارد می‌شود. اگر بزرگی این نیرو

می‌لغزد. مسیر حرکت به جز در قسمت مسطح پایینی، بدون اصطکاک است. در این قسمت، قطعه بر اثر اصطکاک پس از طیّ مسافت معین D متوقف می‌شود. (الف) اگر ارتفاع h را کاهش دهیم، آیا قطعه در مسافتی بیشتر از D متوقف خواهد شد، یا در مسافتی کمتر از D و یا برابر با آن؟ (ب) اگر، به جای کاهش ارتفاع، جرم قطعه را افزایش دهیم، آیا مسافت توقف بیشتر، کمتر، و یا برابر D خواهد شد؟



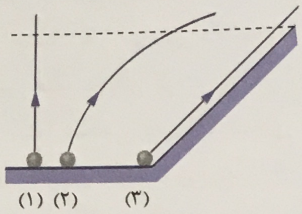
شکل ۸-۲۵ پرسش۸

۹ شکل ۸-۲۶ سه وضعیت را نشان می‌دهد که شامل سطحی با اصطکاک و قطعه‌ای است که روی آن سطح می‌لغزد. در هر سه وضعیت، قطعه با تندی یکسانی شروع می‌کند و تا وقتی‌که نیروی اصطکاک جنبشی آن را متوقف نکرده است به لغزیدن ادامه می‌دهد. این سه وضعیت را برطبق افزایش انرژی گرمایی ناشی از لغزیدن، به‌گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



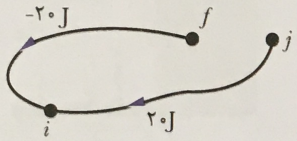
شکل ۸-۲۶ پرسش۹

شکل ۸-۱۷ سه آلو را نشان می‌دهد که از ارتفاع یکسانی و با تندی یکسان پرتاب شده‌اند. یکی مستقیماً به سمت بالا حرکت می‌کند، یکی تحت زاویه‌ی کوچکی نسبت به راستای قائم پرتاب شده است و یکی روی شیب بدون اصطکاکی پرت شده است. آلوها را برطبق تندی آن‌ها به‌هنگام رسیدن به ترازی که با خط‌چین مشخص شده است به‌گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



شکل ۸-۲۷ پرسش۱۰

۱۱ هرگاه ذره‌ای از f به i و از j به i در امتداد مسیرهای نشان داده شده در شکل ۸-۲۸ و در جهت‌های مشخص شده جابه‌جا شود، نیروی پایستار $\vec{F}$ روی ذره کار انجام می‌دهد که مقدارهای آن در شکل مشخص شده است. هرگاه ذره از f به j حرکت کند، نیروی $\vec{F}$ چه مقدار کار روی ذره انجام می‌دهد؟



شکل ۸-۲۸ پرسش۱۱

مسئله‌ها

GO حل با راهنمایی مرحله به مرحله (بسته به صلاحدید مدرّس) در *WileyPLUS* و WebAssign موجود است.

••• – • تعداد نقطه‌ها سطح دشواری مسئله را مشخص می‌کند.

ILW حل در

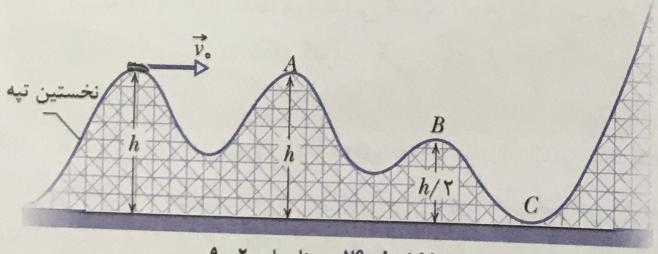
WWW حل به روش تعاملی در http://www.wiley.com/college/halliday داده شده است.

اطلاعات بیشتر در کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک و در *www.flyingcircusofphysics.com*

بخش ۸-۱ انرژی پتانسیل

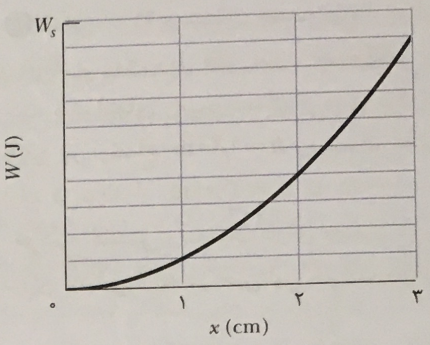
• ۱ هرگاه فنری به‌اندازه‌ی ۷٫۵cm نسبت به‌طول واهلیده‌اش فشرده شود، ۲۵J انرژی پتانسیل کشسانی ذخیره می‌کند. ثابت این فنر چقدر است؟

• ۲ در شکل ۸-۲۹، یک قطار هوایی تفریحی به جرم $m = 825\,kg$ که بر مسیری بدون اصطکاک حرکت می‌کند با تندی $v_0 = 17{,}0\,m/s$ به بالای نخستین تپه به ارتفاع $h = 42{,}0\,m$ می‌رسد. نیروی گرانشی از این نقطه تا (الف) نقطه‌ی A، (ب) نقطه‌ی B و (پ) نقطه‌ی C چقدر کار روی قطار انجام می‌دهد؟ اگر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه قطار- کره زمین در نقطه‌ی C صفر درنظر گرفته شود، مقدار آن هنگامی که قطار در (ت) نقطه‌ی B و (ث) نقطه‌ی A است، چقدر می‌شود؟ (ج) اگر جرم m دو برابر شود، آیا تغییر انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه میان نقاط A و B افزایش می‌یابد یا کاهش، یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟



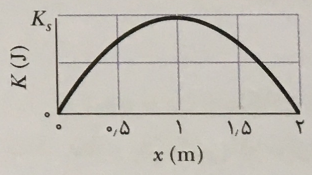
شکل ۸-۲۹ مسئله‌های ۲ و ۹

$x=+۳٫۰\text{cm}$ می‌کشیم، جایی که در آن ساکن می‌شود. شکل ۷-۳۵ کاری را که ما روی قطعه انجام می‌دهیم، نشان می‌دهد. محور قائم شکل با $W_s=۱٫۰\text{J}$ مقیاس‌بندی شده است. سپس قطعه را رو به بیرون تا $x=+۵٫۰\text{cm}$ می‌کشیم و آن را از حالت سکون رها می‌کنیم. وقتی قطعه از $x_i=+۵٫۰\text{cm}$ به (الف) $x=+۴٫۰\text{cm}$، (ب) $x=-۲٫۰\text{cm}$ و (پ) $x=-۵٫۰\text{cm}$ حرکت کند، چقدر کار توسط فنر روی قطعه انجام می‌شود؟



شکل ۷-۳۵ مسئله‌ی ۲۹

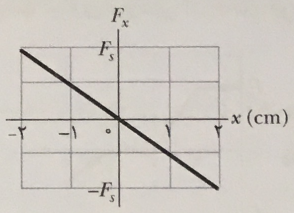
●● ۳۰ در شکل ۷-۱۰ الف، قطعه‌ای به جرم m روی سطح افقی بدون اصطکاکی قرار دارد و به یک سرِ فنری افقی (با ثابت فنر k) که سر دیگرش در جایی محکم شده، وصل گردیده است. وقتی در ابتدا نیروی افقی $\vec{F}$ در سوی مثبت محور x بر قطعه وارد می‌شود، قطعه به حالت سکون در مکانی است که فنر در حالت واهلیده‌ی خود قرار دارد ($x=۰$). نموداری از انرژی جنبشی قطعه برحسب مکان x آن در شکل ۷-۳۶ نشان داده شده است. محور قائم با $K_s=۴\text{J}$ مقیاس‌بندی شده است. (الف) بزرگی $\vec{F}$ چقدر است؟ (ب) مقدار k چیست؟



شکل ۷-۳۶ مسئله‌ی ۳۰

●● ۳۱ WWW تنها نیروی وارد بر جسمی به جرم $۲٫۰\text{kg}$، وقتی در سوی مثبت محور x حرکت می‌کند دارای مؤلفه‌ی x به‌صورت $F_x=-۶x\text{N}$ است که در آن x برحسب متر است. سرعت جسم در $x=۳٫۰\text{m}$ برابر با $۸٫۰\text{m/s}$ است. (الف) سرعت جسم در $x=۴٫۰\text{m}$ چقدر است؟ (ب) در چه مقدار مثبتی از x، جسم دارای سرعت $۵٫۰\text{m/s}$ است؟

●● ۳۲ شکل ۷-۳۷ نیروی فنری F_x را برحسب مکان x برای آرایش فنر- قطعه‌ی شکل ۷-۱۰ نشان می‌دهد. محور قائم با $F_s=۱۶۰٫۰\text{N}$ مقیاس‌بندی شده است. قطعه را از $x=۱۲\text{cm}$ رها می‌کنیم. وقتی قطعه از $x_i=+۸٫۰\text{cm}$ به (الف) $x=+۵٫۰\text{cm}$، (ب) $x=-۵٫۰\text{cm}$، (پ) $x=-۸٫۰\text{cm}$ و (ت) $x=-۱۰٫۰\text{cm}$ حرکت کند، چقدر کار توسط فنر روی قطعه انجام می‌شود؟

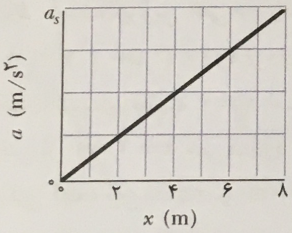


شکل ۷-۳۷ مسئله‌ی ۳۲

●●● ۳۳ GO قطعه‌ی شکل ۷-۱۰ الف روی سطح افقی بدون اصطکاکی قرار دارد و ثابت فنر ۵۰N/m است. در ابتدا، فنر در طول واهلیده‌ی خود و قطعه در مکان $x=۰$ قرار دارد. آنگاه یک نیروی خارجی با بزرگی ثابت $۳٫۰\text{N}$ قطعه را آن‌قدر در جهت مثبت محور x می‌کشد تا سرانجام متوقف شود. وقتی قطعه به نقطه‌ی توقف برسد (الف) مکان قطعه کجاست؟ (ب) کاری که توسط نیروی خارجی بر قطعه انجام شده، چقدر است؟ (پ) کار انجام شده توسط نیروی فنری بر قطعه چقدر است؟ در حین جابه‌جایی قطعه (ت) مکان قطعه وقتی انرژی جنبشی آن بیشینه است، کجاست؟ و (ث) مقدار آن انرژی جنبشیِ بیشینه چقدر است؟

بخش ۷-۵ کار انجام شده توسط یک نیروی متغیر در حالت کلی

● ۳۴ ILW آجری به جرم ۱۰kg بر راستای محور x حرکت می‌کند. شتاب آن برحسب تابعی از مکان در شکل ۷-۳۸ نشان داده شده است. محور قائم شکل با $a_s=۲۰٫۰\text{m/s}^۲$ مقیاس‌بندی شده است. وقتی آجر از $x=۰$ به $x=۸٫۰\text{m}$ حرکت کند، کار انجام شده‌ی خالص روی آن توسط نیرویی که آن شتاب را ایجاد کرده است، چقدر است؟

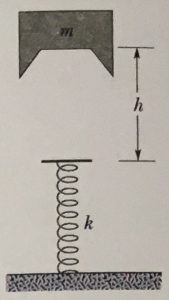


شکل ۷-۳۸ مسئله‌ی ۳۴

● ۳۵ WWW نیروی وارد بر ذره‌ای که در راستای محور x بر آن وارد می‌شود با $F=F_۰(x/x_۰-۱)$ داده شده است. کار انجام شده توسط این نیرو را برای رفتن ذره از $x=۰$ به $x=۲x_۰$ (الف) با رسم $F(x)$ و اندازه‌گیری کار از روی نمودار و (ب) با انتگرال‌گیری از $F(x)$ به‌دست آورید.

● ۳۶ GO قطعه‌ای به جرم $۵٫۰\text{kg}$ تحت تأثیر نیرویی که مطابق

●● ۲۴ قطعه‌ای به‌جرم $m = ۲٫۰\,kg$ از ارتفاع $h = ۴۰\,cm$ روی فنری با ثابت فنر $k = ۱۹۶۰\,N/m$ رها می‌شود (شکل ۸-۳۹). فاصله‌ی بیشینه‌ای را که فنر فشرده می‌شود پیدا کنید.

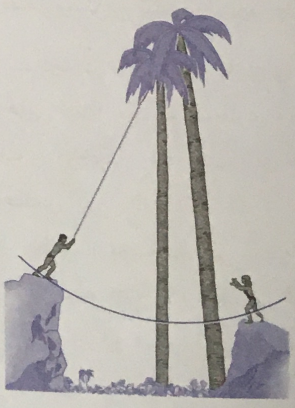


شکل ۸-۳۹ مسئله‌ی ۲۴

●● ۲۵ در زمان $t = ۰$، گلوله‌ای به‌جرم $۱٫۰\,kg$ از بالای برج بلندی با $\vec{v} = (۱۸\,m/s)\hat{i} + (۲۴\,m/s)\hat{j}$ پرتاب می‌شود. تغییر ΔUی دستگاه گلوله - کره زمین بین دو لحظه‌ی $t = ۰$ و $t = ۶٫۰\,s$ (هنوز در حال سقوط آزاد) چقدر است؟

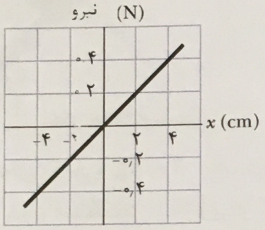
●● ۲۶ تک‌نیروی پایستار $\vec{F} = (۶٫۰x - ۱۲)\hat{i}\,N$، که در آن x برحسب متر است، بر ذره‌ای وارد می‌شود که در راستای محور x حرکت می‌کند. انرژی پتانسیل Uی وابسته به این نیرو در $x = ۰$ برابر با $۲۷\,J$ است. (الف) رابطه‌ای برای U به‌صورت تابعی از x بنویسید که در آن U برحسب ژول و x برحسب متر باشد. (ب) بیشینه‌ی انرژی پتانسیل ممکن چقدر است؟ در چه مقدار (پ) منفی و (ت) مثبتی از x، انرژی پتانسیل برابر با صفر است؟

●● ۲۷ تارزان به وزن $۶۸۸\,N$، درحالی که انتهای شاخه‌ی بلند درختی به‌طول $۱۸\,m$ را در دست دارد از بالای صخره‌ای تاب می‌خورد (شکل ۸-۴۰). او از بالای صخره تا پایین‌ترین نقطه‌ی مسیر تاب، به‌اندازه‌ی $۳٫۲\,m$ پایین می‌آید. اگر نیروی وارد بر شاخه‌ی درخت از $۹۵۰\,N$ بیشتر شود، شاخه‌ی درخت می‌شکند. (الف) آیا شاخه‌ی درخت می‌شکند؟ (ب) اگر نمی‌شکند، بیشترین نیروی وارد بر آن در حین تاب خوردن چقدر است؟ اگر می‌شکند در چه زاویه‌ای نسبت به راستای قائم می‌شکند؟

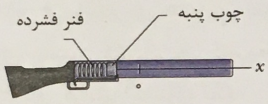


شکل ۸-۴۰ مسئله‌ی ۲۷

●● ۲۸ شکل ۸-۴۱ الف مربوط به فنر یک تفنگ چوب‌پنبه‌ای (شکل ۸-۴۱ ب) است؛ این شکل، نیروی فنری را برحسب تابعی از کشیدگی یا فشردگی فنر نشان می‌دهد. فنر به‌اندازه‌ی $۵٫۵\,cm$ فشرده می‌شود و برای پرتاب چوب‌پنبه‌ای به جرم $۳٫۸\,g$ از تفنگ، مورد استفاده قرار می‌گیرد. (الف) اگر چوب‌پنبه در لحظه‌ای که فنر از مکان واهلیدگی خود عبور می‌کند رها شده باشد، تندی آن چقدر است؟ (ب) حال فرض کنید که این بار چوب‌پنبه به فنر بچسبد و پیش از آنکه از فنر جدا شود آن را به‌اندازه‌ی $۱٫۵\,cm$ بکشد. اکنون تندی چوب‌پنبه در لحظه‌ی جدا شدن از فنر چقدر است؟



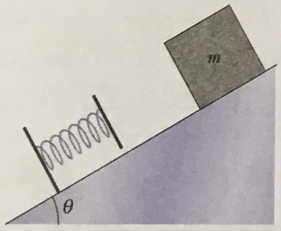
(الف)



(ب)

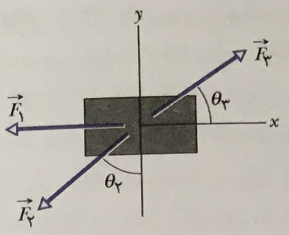
شکل ۸-۴۱ مسئله‌ی ۲۸

●● ۲۹ WWW در شکل ۸-۴۲، قطعه‌ای به‌جرم $m = ۱۲\,kg$ از حالت سکون روی شیب بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $\theta = ۳۰°$ رها می‌شود. در پایین قطعه، فنری قرار دارد که می‌تواند تحت تأثیر نیرویی به بزرگی $۲۷۰\,N$ به اندازه‌ی $۲٫۰\,cm$ فشرده شود. وقتی فنر به‌اندازه‌ی $۵٫۵\,cm$ فشرده شود، قطعه به طور لحظه‌ای متوقف می‌شود. (الف) قطعه چه فاصله‌ای را روی شیب، از حالت سکون تا نقطه‌ی توقف لحظه‌ای طی می‌کند؟ (ب) تندی قطعه درست در لحظه‌ی تماس با فنر چقدر است؟



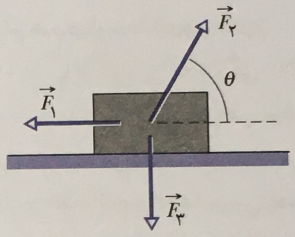
شکل ۸-۴۲ مسئله‌های ۲۹ و ۳۵

●● ۳۰ GO همان‌طور که در شکل ۸-۴۳ نشان داده شده است، جعبه‌ای به جرم $۲٫۰\,kg$ که روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی با زاویه‌ی شیب $\theta = ۴۰°$ قرار دارد، توسط ریسمانی که به دور یک قرقره پیچیده شده، به فنر سبکی با ثابت فنر $k = ۱۲۰\,N/m$ متصل



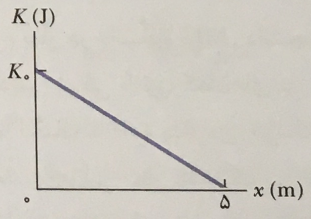
شکل ۷-۲۷ مسئله‌ی ۱۴

●● ۱۵ GO شکل ۷-۲۸ سه نیروی وارد بر چمدانی را نشان می‌دهد که بر کف بدون اصطکاکی به اندازه‌ی ۳٫۰۰m رو به سمت چپ حرکت می‌کند. بزرگی نیروها عبارت‌اند از $F_۱ = ۵٫۰۰\text{N}$، $F_۲ = ۹٫۰۰\text{N}$ و $F_۳ = ۳٫۰۰\text{N}$ و زاویه‌ی نشان داده شده در شکل $\theta = ۶۰٫۰^\circ$ است. در حین این جابه‌جایی (الف) کار خالص انجام شده روی چمدان توسط این سه نیرو چقدر است؟ و (ب) آیا انرژی جنبشی چمدان افزایش می‌یابد یا کاهش؟



شکل ۷-۲۸ مسئله‌ی ۱۵

●● ۱۶ GO جسمی به جرم ۸٫۰kg در سوی مثبت محور x حرکت می‌کند و وقتی از $x = ۰$ می‌گذرد، نیروی ثابتی در راستای محور x شروع به اثر گذاشتن روی آن می‌کند. شکل ۷-۲۹ انرژی جنبشی K ی جسم را برحسب مکان x آن، وقتی از $x = ۰$ به $x = ۵٫۰\text{m}$ می‌رود، نشان می‌دهد؛ $K_۰ = ۳۰٫۰\text{J}$ است. نیرو به‌طور پیوسته اثر می‌کند. وقتی جسم رو به عقب حرکت کند، تندی آن در $x = -۳٫۰\text{m}$ چقدر است؟



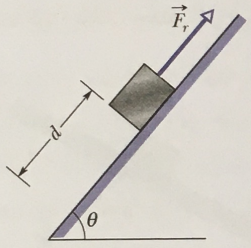
شکل ۷-۲۹ مسئله‌ی ۱۶

بخش ۷-۳ کار انجام شده توسط نیروی گرانشی

● ۱۷ WWW هلیکوپتری، فضانوردی به جرم ۷۲kg را توسط کابلی از سطح اقیانوس به‌طور قائم به اندازه‌ی ۱۵m بالا می‌کشد. شتاب فضانورد برابر $g/۱۰$ است. چقدر کار روی فضانورد توسط (الف) نیروی وارد از هلیکوپتر و (ب) نیروی گرانشی وارد بر او، انجام شده است؟ درست پیش از آنکه او به هلیکوپتر برسد، (پ) انرژی جنبشی و (ت) تندی او چقدر است؟

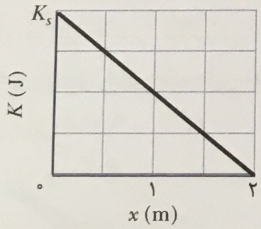
● ۱۸ در سال ۱۹۷۵ سقف استادیوم *وُلدرُم*[1] مونترال، به وزن ۳۶۰kN به اندازه‌ی ۱۰cm بالا برده شد تا بتواند در وسط قرار گیرد. چقدر کار بر روی سقف توسط نیروهایی که آن را بالا بردند، انجام شده بود؟ (ب) در سال ۱۹۶۰ مادری از شهر *تامپا*[2] در فلوریدا گزارش داد که او یک سر اتومبیلی را که بر اثر شکستن جک روی پسرش افتاده بود، بلند کرده است. اگر او در این بلند کردن مضطربانه واقعاً ۴۰۰۰N (حدود $\frac{۱}{۴}$ وزن اتومبیل) را به‌اندازه‌ی ۵٫۰cm بلند کرده باشد، چقدر کار توسط نیروی او روی اتومبیل انجام شده است؟

●● ۱۹ GO در شکل ۷-۳۰، قالب یخی بر روی شیب بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $\theta = ۵۰^\circ$ رو به پایین می‌لغزد، در حالی‌که کارگری آن قالب یخ را توسط طنابی با نیروی $\vec{F}_r$ به بزرگی ۵۰N، رو به بالای شیب می‌کشد. وقتی قالب یخ به اندازه‌ی مسافت $d = ۰٫۵۰\text{m}$ روی شیب بلغزد، انرژی جنبشی آن به اندازه‌ی ۸۰J افزایش می‌یابد. اگر طناب به قالب یخ متصل نشده بود، انرژی جنبشی آن چقدر بزرگ‌تر می‌شد؟



شکل ۷-۳۰ مسئله‌ی ۱۹

●● ۲۰ قطعه‌ای بر شیب بدون اصطکاکی که بر راستای آن محور x رو به بالا امتداد دارد، به سمت بالا لغزانده می‌شود. شکل ۷-۳۱، انرژی جنبشی قطعه را برحسب تابعی از مکان x نشان می‌دهد؛ محور قائم شکل با $K_s = ۴۰٫۰\text{J}$ مقیاس‌بندی شده است. اگر تندی اولیه‌ی قطعه ۴٫۰۰m/s باشد، نیروی عمودی سطح وارد بر قطعه چقدر است؟

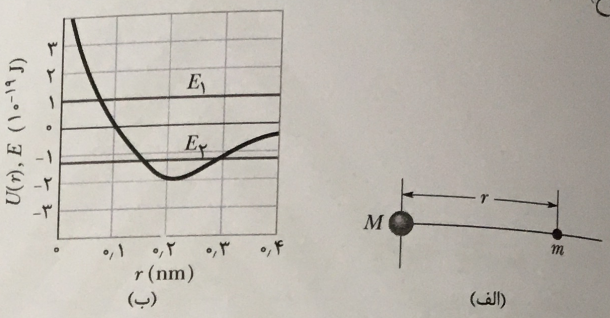


شکل ۷-۳۱ مسئله‌ی ۲۲

●● ۲۱ از ریسمانی برای پایین آوردن قائم قطعه‌ای به جرم M

[1] Velodrome [2] Tampa

$r = ۰٫۳\,\text{nm}$، مطلوب است (پ) انرژی پتانسیل دستگاه، (ت) انرژی جنبشی کل اتم‌ها و (ث) نیرو (از لحاظ بزرگی و جهت) وارد به هر اتم. به‌ازای چه مقادیری از r، نیرو (ج) دافعه، (چ) جاذبه، و (ح) صفر است؟



شکل ۸-۷۳ مسئله‌ی ۱۳۴

۱۳۵ مسئله‌ی ۸۳ را تکرار کنید، ولی این بار فرض کنید که قطعه روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی با زاویه‌ی $۵٫۰^\circ$ نسبت به افق، رو به بالا شتاب گرفته است.

۱۳۶ فنری با ثابت فنر $k = ۶۲۰\,\text{N/m}$ به طور قائم روی یک سطح افقی قرار گرفته است. انتهای بالایی فنر به اندازه‌ی $۲۵\,\text{cm}$ فشرده می‌شود و سپس قطعه‌ای به وزن $۵۰\,\text{N}$ (بی‌آنکه به فنر وصل شود) روی فنرِ فشرده شده قرار داده می‌شود. دستگاه از حالت سکون رها می‌شود. با فرض آنکه انرژی پتانسیل گرانشی U_g قطعه در نقطه‌ی رها شدن فنر $(y = ۰)$ صفر باشد، انرژی جنبشی K قطعه را به ازای y برابر با (الف) ۰، (ب) $۰٫۰۵۰\,\text{m}$، (پ) $۰٫۱۰\,\text{m}$، (ت) $۰٫۱۵\,\text{m}$ و (ث) $۰٫۲۰\,\text{m}$ محاسبه کنید. همچنین (ج) قطعه تا چه فاصله‌ای بالای نقطه‌ی رها شدن فنر، بالا می‌رود؟

۷٫۶۰mm کشیده شده، فنر چقدر کار انجام داده است؟ (ب) اگر فنر به اندازه ۷٫۶۰mm دیگر کشیده شود، چقدر کار اضافی انجام داده است؟

۸۴ نیروی $\vec{F}=(۲٫۰۰\hat{i}+۹٫۰۰\hat{j}+۵٫۳۰\hat{k})\text{N}$ بر جسمی به جرم ۲٫۹۰kg اثر می‌کند که در زمان ۲٫۱۰s از مکان اولیه‌ی $\vec{r}_۱=(۲٫۷۰\hat{i}-۲٫۹۰\hat{j}+۵٫۵۰\hat{k})\text{m}$ به مکان نهایی $\vec{r}_۲=(-۴٫۱۰\hat{i}+۳٫۳۰\hat{j}+۵٫۴۰\hat{k})\text{m}$ جابه‌جا می‌شود. مطلوب است (الف) کاری که نیرو در این بازه‌ی زمانی بر روی جسم انجام می‌دهد، (ب) توان متوسط ناشی از نیرو در آن بازه‌ی زمانی و (پ) زاویه‌ی بین بردارهای $\vec{r}_۱$ و $\vec{r}_۲$.

۸۵ در لحظه‌ی $t=۰$، نیروی $\vec{F}=(-۵٫۰۰\hat{i}+۵٫۰۰\hat{j}+۴٫۰۰\hat{k})\text{N}$ بر ذره‌ای به جرم ۲٫۰۰kg که دارای تندی اولیه‌ی ۴٫۰۰m/s است، اثر می‌کند. تندی ذره، وقتی جابه‌جایی آن از نقطه‌ی اولیه برابر $\vec{d}=(۲٫۰۰\hat{i}+۲٫۰۰\hat{j}+۷٫۰۰\hat{k})\text{m}$ است، چقدر است؟