۴

کار و انرژی

تخت جمشید ـ شمال شیراز

بیش از ۲۵۰۰ سال پیش، ایرانیان با ذوق و سخت‌کوشی تمدنی را برپا کردند که بخشی از آثار به جای ماندهٔ آن را در این تصویر می‌بینید. این مکان به دروازهٔ همهٔ کشورها معروف است.

هنگامی که فعالیت‌های یک روز خود را در نظر می‌گیرید، مشاهده می‌کنید که اعمال متفاوتی انجام می‌دهید راه می‌روید، از پله بالا می‌روید، می‌نویسید و کیف خود را حمل می‌کنید. برای انجام این فعالیت‌ها به انرژی نیاز دارید که توسط مواد غذایی تأمین می‌شود. افراد دیگر نیز به همین ترتیب فعالیت‌های گوناگون دارند. بسیاری از این فعالیت‌ها، توسط وسیله‌هایی چون اتومبیل، جرثقیل و ... انجام می‌شوند. این وسیله‌ها از انرژی الکتریکی، شیمیایی و یا ... استفاده می‌کنند. در کتاب فیزیک(۱) و آزمایشگاه تا حدی با مفهوم انرژی و نوع‌های مختلف آن و تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر آشنا شدید. در این فصل با مفهوم کار در فیزیک، انرژی مکانیکی و توان آشنا می‌شوید و تعریف دقیق‌تری از نوع‌های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می‌شود.

۴ــ۱ کار

همه‌روزه با افرادی مواجه هستیم که در حال انجام فعالیت‌های متفاوتی هستند. نجّار را می‌بینیم که درحال اره و یا رنده کردن است. در فعالیت‌های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محل دیگر حمل می‌کنند و ... البته بعضی از فعالیت‌ها نیز توسط ماشین‌های مخصوص انجام می‌شوند.

در شکل ۴ــ۱ دو نمونه از این فعالیت‌ها نشان داده شده‌اند. آیا شما نیز می‌توانید تعدادی از این فعالیت‌ها را نام ببرید؟

در بسیاری از فعالیت‌هایی که انجام می‌شوند :

الف) به اجسام نیرو وارد می‌شود. ب) آنها جابه‌جا می‌شوند.

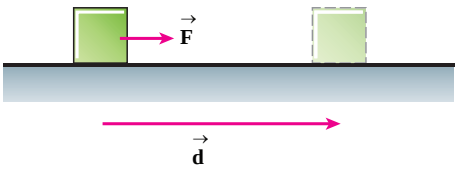
(الف)

(ب)

شکل ۴ــ۱ــ شخص با وارد کردن نیرو به جسم و جابه‌جا کردن آن، کار انجام می‌دهد.

به‌عنوان مثال، در شکل ۴ــ۱ــ الف پسر به جعبه نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل ۴ــ۱ــ ب مادری به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. کار در فیزیک را برای مثال‌هایی که در آنها بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود، به‌صورت حاصل‌ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌کنیم. یعنی، اگر مطابق شکل ۴ــ۲ به جسم نیرویی به اندازهٔ F وارد و آن را به اندازهٔ d جابه‌جا کنیم، طبق تعریف، کار نیروی ثابت F، با رابطهٔ زیر داده می‌شود.

$$W_F = Fd \qquad (۱ــ۴)$$



شکل ۴ــ۲ــ بر جسم نیروی $\vec{F}$ وارد می‌شود و جسم هم‌سو با نیرو به اندازهٔ d جابه‌جا می‌شود.

کار یک کمیت نرده‌ای است و یکای آن N.m است که ژول نامیده می‌شود. این یکا را با نماد J نمایش می‌دهیم. همان‌طورکه در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم یکای انرژی و گرما نیز ژول است.

مثال ۴ـ۱

در شکل ۴ـ۱ـ ب اگر شخص نیرویی افقی برابر ۴N را به کالسکه وارد و آن را به اندازهٔ ۱۰m جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

پاسخ : بر طبق رابطهٔ ۴ـ۱ داریم :

$$W = Fd$$

$$W = ۴\times۱۰=۴۰J$$

مثال ۴ـ۲

مطابق شکل ۴ـ۱ـ الف اگر شخصی نیرویی برابر ۳۰ نیوتون را به جسم اعمال کند و آن را به اندازهٔ ۰/۵ متر بالا ببرد چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

پاسخ :

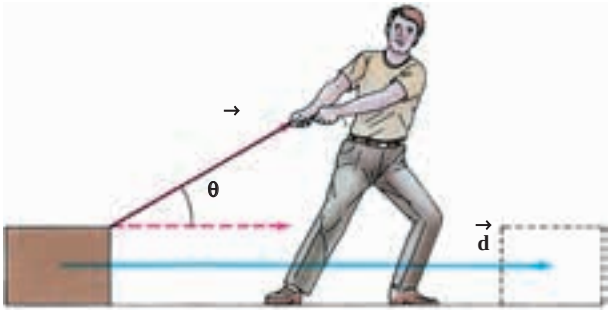
$$W = Fd$$

$$W=۳۰\times۰/۵ =۱۵J$$

در شکل ۴ـ۳ نیرویی که مرد بر جعبه وارد می‌کند، با جابه‌جایی جعبه زاویهٔ θ می سازد. در چنین مواردی برای تعیین کار نیروی ثابت $\vec{F}$ در جابه‌جایی $\vec{d}$ از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم :

$$W_F = Fd\cos\theta \qquad (۴ـ۲)$$

اگر در این رابطه θ=۰ باشد، رابطهٔ ۴ـ۱ به‌دست می‌آید.



شکل ۴ـ۳ ــ مرد با نیروی F که با راستای افق زاویهٔ θ می‌سازد، جعبه را به اندازهٔ d جابه‌جا می کند.

مثال ۴ـ۳

در شکل ۴ـ۳ اگر نیرویی که مرد بر جعبه وارد می‌کند ۵۰N و زاویهٔ آن با جابه‌جایی ۶۰° باشد. کار نیروی مرد را در ۳ متر جابه‌جایی حساب کنید.

پاسخ : بر طبق رابطهٔ ۴ـ۲ داریم :

$$W_F=Fd\cos\theta$$

$$W_F = ۵۰\times۳\times\cos۶۰^\circ=۷۵J$$

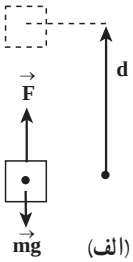
در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هریک از نیروها را از رابطهٔ ۴ـ۲ به‌دست آورد.

مثال ۴ـ۴

جسمی به جرم m را با نیروی ثابت F مطابق شکل الف به اندازهٔ d بالا می‌بریم.

الف) کار نیروی وزن در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) کار نیروی F در این جابه‌جایی چقدر است؟



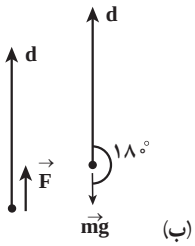
(الف)

پاسخ : الف) در این حالت زاویهٔ بین نیروی وزن و بردار جابه‌جایی 180° است (شکل ب).

در نتیجه، بر طبق رابطهٔ ۴ـ۲ داریم :

$$W_{mg} = mgd\cos 180^\circ$$

$$= -mgd$$



(ب)

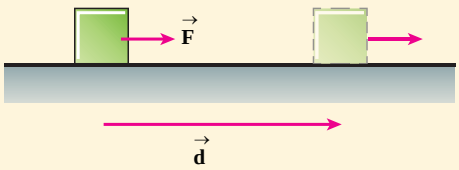
ب) زاویهٔ نیروی F و جابه‌جایی، صفر است (شکل ب) درنتیجه داریم :

$$W_F = Fd\cos 0^\circ$$

$$= Fd$$

تمرین ۴ـ۱

در شکل روبه‌رو نیروی ثابت $\vec{F}$ در امتداد افق به جسمی به جرم m وارد می‌شود و آن را در روی سطحی با ضریب اصطکاک جنبشی μ_k جابه‌جا می‌کند. مطلوبست :



الف) کار نیروی F .

ب) کار نیروی اصطکاک جنبشی.

پ) کار نیروی عمودی تکیه‌گاه.

ت) کار نیروی وزن.

مثال ۴ـ۵

در طول مدتی که وزنه‌بردار وزنه را بالای سر خود نگه می‌دارد :

الف) کار نیروی دست او بر روی وزنه چقدر است؟

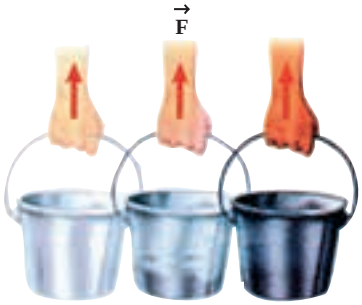
ب) آیا او در این مدت انرژی مصرف می‌کرد؟ توضیح دهید.

پاسخ : الف) در این حالت وزنه‌بردار برای نگهداشتن وزنه، نیرویی برابر با وزن آن به آن وارد می‌کند. ولی چون جابه‌جایی صفر است، کار او برابر است با :

$$W = Fd = mg \times 0 = 0\,J$$

ب) وزنه‌بردار در این مدت انرژی مصرف می‌کند و انرژی مصرف‌شده او در نهایت به‌صورت گرما به محیط بیرون داده می‌شود.

مثال ۴ـ۷



شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم m رامطابق شکل روبه‌رو حمل و به اندازهٔ d جابه‌جا می‌کند. کار نیروی دست در این جابه‌جایی چقدر است؟

پاسخ : شخص برای اینکه سطل را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویهٔ بین نیرو و جابه‌جایی ۹۰° است، درنتیجه :

$$W = Fd\cos\theta = mgd\cos۹۰^\circ = ۰J$$

مثال‌های ۴ـ۵ و ۴ـ۶ نشان می‌دهند کاری که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت‌وگوهای روزمره خود استفاده می‌کنیم، تفاوت دارد.

۴ـ۲ رابطهٔ کار و انرژی جنبشی

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی جنبشی جسمی به جرم m و سرعت v با رابطهٔ

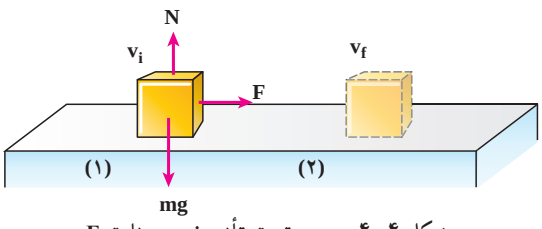
$$K = \frac{۱}{۲}mv^۲ \qquad (۴ـ۳)$$

داده می‌شود. سرعت توپی که در امتداد قائم به هوا پرتاب شده باشد، رفته رفته کاهش می یابد و درنتیجه انرژی جنبشی توپ نیز کم می‌شود. اینک فرض کنید توپ را ازحال سکون از یک بلندی رها کنیم، سرعت و درنتیجه انرژی جنبشی توپ به تدریج افزایش می‌یابد. اکنون توپی را درنظر بگیرید که به دیواری برخورد کند و برگردد، در این برخورد ابتدا سرعت و انرژی جنبشی آن کاهش و سپس افزایش می‌یابد. روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. مثلاً انرژی جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می‌یابد و ....

فعالیت ۴ـ۱

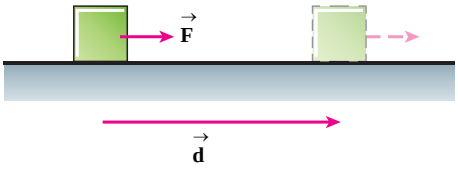
در هریک از مثال‌های بالا الف) نیروهای وارد بر جسم را تعیین کنید. ب) علامت کار هر نیرو را مشخص کنید.

در مثال‌های بالا هریک از نیروهای وارد بر جسم کار انجام می‌دهند و این کارها سبب تغییر انرژی جنبشی جسم می‌شود. برای توضیح این موضوع مثال زیر را در نظر می‌گیریم، جسمی به جرم m مطابق شکل ۴ـ۴ روی سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارد. این جسم تحت تأثیر نیروی ثابت F به اندازهٔ d روی سطح جابه‌جا می‌شود. کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جابه جایی صفر است.



شکل ۴ـ۴ـ جسم تحت تأثیر نیروی ثابت F، از سرعت اولیهٔ V_i به سرعت نهایی V_f می‌رسد.

کار نیروی F با رابطهٔ زیر داده می‌شود :



$$W = Fd$$

چون F مساوی برایند نیروهای وارد بر جسم است، داریم :

$$F = ma$$

در اثر اعمال نیروی F سرعت جسم از مقدار v_i در نقطهٔ (۱) به مقدار v_f در نقطهٔ (۲) تغییر می‌کند.
با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۱۴ داریم :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad$$

اگر از این رابطه a را به‌دست آوریم و در رابطهٔ ۳ــ۱ قرار دهیم، خواهیم داشت :

$$F = m\frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \qquad (۴ــ۴)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطهٔ ۴ــ۱ رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \qquad (۴ــ۵)$$

جملهٔ اول طرف راست در این رابطه انرژی جنبشی جسم در نقطهٔ (۲) و جمله دوم، انرژی جنبشی جسم در نقطهٔ (۱) است.
درنتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به‌ترتیب با K_f و K_i نشان دهیم، رابطهٔ (۴ــ۵) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

$$W = K_f - K_i \qquad (۴ــ۶)$$

در این مثال خاص دیدیم که فقط کار یک نیرو غیرصفر بود. در مثال‌های دیگر اگر کار بیش از یک نیرو غیر صفر باشد، سمت چپ رابطهٔ ۴ــ۶، مجموع آن کارها خواهد بود.
رابطهٔ ۴ــ۶ قضیه کار و انرژی نامیده می‌شود. برطبق این قضیه، مجموع کارهای نیروهای وارد بر هر جسم در یک جابه‌جایی برابر با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی است.
اگر مجموع کارها مثبت باشد، $K_f > K_i$ است و انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد و اگر مجموع کارها منفی باشد، $K_f < K_i$ است و انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد و به همین ترتیب اگر مجموع کارها صفر باشد، $K_f = K_i$ است و انرژی جنبشی جسم تغییر نمی‌کند.

فعالیت ۴ــ۲

با توجه به نکات فوق علّت افزایش و یا کاهش انرژی جنبشی اجسام را در مثال‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شدند توضیح دهید.

مثال ۴ـ۷

چتربازی از ارتفاع ۸۰۰ متری از حال سکون رها می‌شود. جرم چترباز به همراه چترش ۸۰kg است. اگر او با سرعت ۵m/s به زمین برسد، به کمک قضیه کار و انرژی کار نیروی مقاومت هوا در مسیر سقوط را به‌دست آورید. (شتاب گرانش را $۱۰ m/s^۲$ فرض کنید).

پاسخ : در این مثال، بر چترباز دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی داریم :

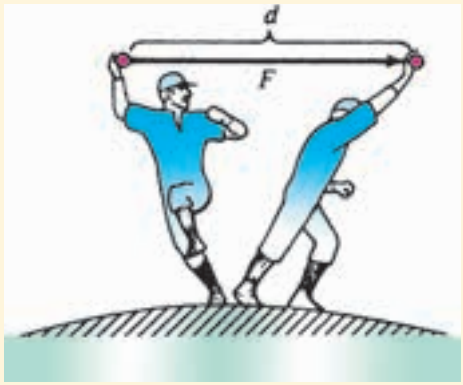
$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{مقاومت هوا}} = K_f - K_i$$

$$mgh\cos ۰^\circ + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{۱}{۲}mv_f^۲ - \frac{۱}{۲}mv_i^۲$$

$$۸۰\times ۱۰\times ۸۰۰\times ۱ + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{۱}{۲}\times ۸۰\times ۵^۲ - ۰$$

$$۶۴۰۰۰۰ + W_{\text{مقاومت هوا}} = ۱۰۰۰ \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} = -۶۳۹۰۰۰ J$$

تمرین ۴ـ۲



ورزشکاری مطابق شکل، بدن و دست خود را طوری حرکت می‌دهد تا توپ را با بیشترین سرعت پرتاب کند، اگر جرم توپ ۰/۵ kg باشد و ورزشکار نیروی تقریباً ثابت ۲۰۰N را در فاصلهٔ ۲/۵ m جابه‌جایی توپ بر آن وارد کند، توپ با چه سرعتی پرتاب می‌شود؟

مثال ۴ـ۸

خودرویی به جرم ۱۲۰۰kg با سرعت ۷۲km/h در حرکت است. اگر راننده ترمز کند، خودرو پس از طی مسافتی می‌ایستد. کار نیروی اصطکاک را از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو به‌دست آورید.

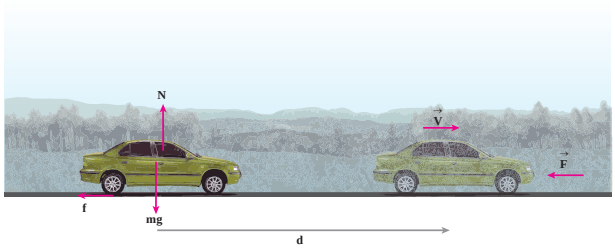
پاسخ : سرعت خودرو قبل از ترمز کردن برابر است با :

$$v_i = \frac{۷۲\times ۱۰۰۰}{۳۶۰۰} = ۲۰ m/s$$

درنتیجه، انرژی جنبشی آن قبل از ترمزکردن برابر است با :

$$K_i = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}\times 1200\times 20^2 = 240000\,J$$

همچنین $K_f = 0\,J$ است.



از طرف دیگر، نیروی اصطکاک ، نیروی عمودی سطح و نیروی وزن نیروهایی هستند که بر جسم اثر می کنند. درنتیجه :

$$W_f + W_N + W_{mg} = k_f - k_i$$

ولی کار نیروی عمودی سطح و نیروی وزن برابر صفر است. درنتیجه :

$$W_f + 0 + 0 = 0 - 240000$$

$$W_f = -240000\,J$$

از قضیهٔ کار و انرژی برای محاسبه کمیت‌های مختلف نیز می‌توان استفاده کرد. این موضوع در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

مثال ۴ـ۹

کامیونتی به جرم ۳ تن با سرعت ۳۶km/h در حرکت است. راننده ناگهان ترمز محکمی می کند. به‌طوری که هر چهار چرخ آن قفل می‌شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک‌ها ۰/۸ باشد، کامیونت چند متر روی جاده سُر می‌خورد تا بایستد؟ ($g = 10\,m/s^2$ فرض می‌شود.)

پاسخ : بر کامیونت نیروهای اصطکاک جنبشی، عمودی سطح و وزن وارد می‌شوند. با توجه به قضیهٔ کار و انرژی داریم :

$$W_f + W_N + W_{mg} = K_f - K_i$$

کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جابه‌جایی صفر است. سرعت اولیه کامیونت ۱۰m/s و سرعت نهایی آن صفر است.

$$W_f + 0 + 0 = 0 - \frac{1}{2}\times 3000\times 10^2 \Rightarrow W_f = -150000\,J$$

$$W_f = f_k d\cos\theta = \mu_k mgd\cos 180^\circ$$

$$-150000 = 0/8\times 3000\times 10\times d\times(-1) \Rightarrow d = 6/25\,m$$

آزمایش ۴ـ۱

وسایل لازم : در شیشهٔ ترشی یا مربا، زمان‌سنج، متر فلزی یا نواری

شرح آزمایش

۱ـ روی زمین یک خط افقی بکشید و درِ شیشهٔ مربا را پشت خط روی زمین قرار دهید.

۲ـ با پا، به در شیشه ضربه بزنید و از لحظهٔ به حرکت درآمدن آن، زمان‌سنج را روشن و با توقف آن، زمان‌سنج را خاموش کنید. (برای آنکه بتوانید در شیشه را روی مسیر مستقیم به حرکت درآورید، لازم است قبلاً چند بار تمرین کنید.)

۳ـ با متر، جابه‌جایی در شیشه را اندازه بگیرید.

۴ـ با استفاده از رابطهٔ $\bar{v}=\frac{v_i+v_f}{2}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ، مقدار v_i را به‌دست آورید.

۵ـ به کمک قضیهٔ کار و انرژی، ضریب اصطکاک جنبشی بین دو شیشه و کف اتاق را به‌دست آورید.

۶ـ آزمایش را چند بار تکرار کنید و میانگین ضریب اصطکاک را بیابید.

۴ـ۳ رابطهٔ کار و انرژی پتانسیل

در بخش قبل رابطهٔ میان کار و تغییر انرژی جنبشی را بررسی کردیم. در اینجا می‌خواهیم درمورد رابطهٔ میان کار و تغییر انرژی پتانسیل بحث کنیم. در ابتدا مورد خاص انرژی پتانسیل گرانشی را در نظر می‌گیریم.

فرض کنید توپ کوچکی به جرم m را از ارتفاع h_i در راستای قائم و رو به بالا پرتاب می‌کنیم (شکل ۴ـ۵). سرعت توپ به‌تدریج کاهش می‌یابد تا اینکه سرانجام در ارتفاع h_f برای لحظه‌ای می‌ایستد. کار نیروی وزن در این جابه‌جایی برابر است با :

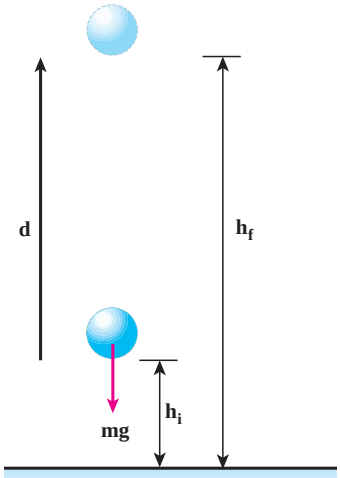
$$W_{\text{وزن}} = mgd\cos 180^\circ = mg(h_f - h_i)(-1)$$
$$= -(mgh_f - mgh_i)$$

از فیزیک (۱) و آزمایشگاه به یاد داریم که انرژی پتانسیل گرانشی به جرم m در ارتفاع h از سطح زمین از رابطهٔ $U=mgh$ به‌دست می‌آید. بنابراین می‌توان نوشت :

$$W_{\text{وزن}} = -(U_f - U_i) = -\Delta U \qquad (۴ـ۷)$$

به عبارت دیگر، کار نیروی وزن برابر با منفیِ تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

اگرچه رابطهٔ ۴ـ۷ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به بالا پرتاب می‌شود به دست آوردیم ولی برای هر جابه‌جایی دلخواهی برقرار است.



شکل ۴ـ۵

توپ از ارتفاع h_i پرتاب می‌شود و به ارتفاع h_f می‌رسد.

مثال ۴ـ۱۰

کودکی به جرم ۲۵kg از بالای یک سرسرهٔ آبی مطابق شکل به سمت پایین سر می‌خورد. اگر ارتفاع سرسره ۸ متر باشد :

الف) انرژی پتانسیل گرانشی کودک در بالا و پایین سرسره را به‌دست آورید.

ب) کار نیروی وزن در این جابه‌جایی را محاسبه کنید. ($g=۱۰ m/s^۲$ فرض می‌شود).

کار نیروی وزن، همیشه برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

الف)

$$U_i = mgh_i = ۲۵\times۱۰\times۸ = ۲۰۰۰J$$

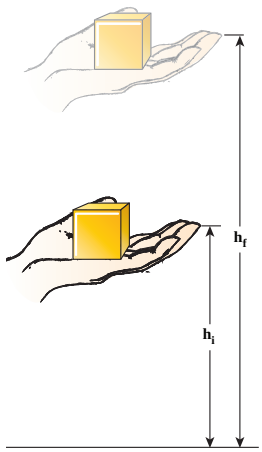
$$U_f = mgh_f = ۲۵\times۱۰\times ۰ = ۰J$$

ب)

$$W_{وزن} = -\Delta U = U_i - U_f = ۲۰۰۰ - ۰ = ۲۰۰۰J$$

مثال ۴ـ۱۱

جسمی به جرم m را مانند شکل با دستمان از ارتفاع h_i به ارتفاع h_f می‌بریم و دوباره به حالت سکون می‌رسانیم. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا کار نیروی دست در این جابه‌جایی را بیابید.



پاسخ : با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی جنبشی داریم :

$$W_{وزن} + W_{دست} = \Delta K$$

از آنجا که جسم در ابتدا و انتهای مسیر ساکن است، تغییر انرژی جنبشی آن صفر است. ($\Delta K = ۰$)

بنابراین : $W_{وزن} + W_{دست} = ۰ \Rightarrow W_{دست} = -W_{وزن}$

با توجه به رابطهٔ ۴ـ۷ می‌توانیم کار نیروی وزن را با استفاده از تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی به‌دست آوریم.

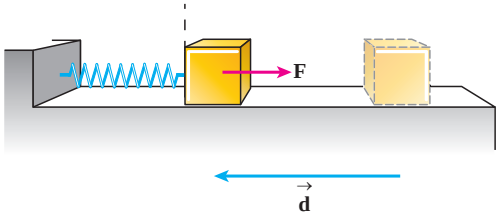
$$W_{وزن} = -\Delta U = -(mgh_f - mgh_i)$$

و آن را در رابطهٔ قبل جایگزین کنیم و کار نیروی دست را پیدا کنیم.

$$W_{دست} = -(-\Delta U) = +(mgh_f - mgh_i)$$

در تجربیات روزمره و همچنین در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیده‌ایم که فنر فشرده یا کشیده دارای انرژی پتانسیل کشسانی است. وقتی جسمی را به سوی فنری پرتاب می‌کنیم، پس از برخورد، فنر فشرده می‌شود و انرژی پتانسیل آن افزایش می‌یابد. در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف جهت جابه‌جایی به جسم وارد می‌کند (شکل ۴ـ۶) یعنی کار نیروی فنر در این جابه‌جایی، منفی و تغییر انرژی پتانسیل کشسانی مثبت است. در مورد تغییر انرژی پتانسیل کشسانی نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می‌توانیم بگوییم :

$$W_{فنر} = -\Delta U_{کشسانی}$$



شکل ۴ـ۶ـ در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف جهت جابه‌جایی جسم به آن وارد می‌کند.

مثال ۴ـ۱۲

درشکل ۴ـ۶ جسم با انرژی جنبشی ۲۰J با فنر برخورد و آن را فشرده می‌کند. اگر بدانیم در لحظهٔ توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی ۱۵J است،

الف) کار نیروی کشسانی فنر در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی، کار نیروی اصطکاک در این جابه‌جایی را به‌دست آورید.

پاسخ :

الف) $W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_f - U_i)$

انرژی پتانسیل اولیهٔ فنر، صفر و در پایان ۱۵J است.

$$W_{\text{فنر}} = -(۱۵ - ۰) = -۱۵\,J$$

ب) بنابر قضیه کار و انرژی :

$$W_{\text{فنر}} + W_{\text{اصطکاک}} + W_{\text{وزن}} + W_{\text{عمودی سطح}} = K_f - K_i$$

$$-۱۵ + W_{\text{اصطکاک}} + ۰ + ۰ = ۰ - ۲۰ \Rightarrow W_{\text{اصطکاک}} = -۵\,J$$

فعالیت ۴ـ۳

وسیله‌هایی را نام ببرید که با استفاده از انرژی پتانسیل کشسانی فنر کار می‌کنند.

۴ـ۴ پایستگی انرژی مکانیکی

جسمی را در راستای قائم رو به بالا پرتاب می‌کنیم. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم از K_i به K_f و انرژی پتانسیل گرانشی آن از U_i به U_f تغییر می‌کند. با توجه به رابطهٔ کار و انرژی پتانسیل گرانشی می‌توانیم بنویسیم :

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_f - U_i)$$

اگر از مقاومت هوا برای این جسم چشم‌پوشی کنیم تنها نیروی وارد بر آن وزن است و بنابر قضیهٔ کار و انرژی داریم :

$$W_{\text{وزن}} = \Delta K = K_f - K_i$$

با مقایسهٔ این دو رابطه می‌توانیم بنویسیم :

$$-(U_f - U_i) = K_f - K_i$$

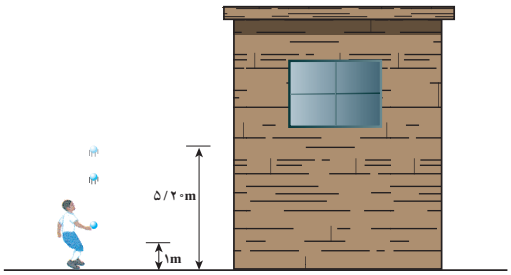
و یا $$U_i + K_i = U_f + K_f$$

یعنی مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف از مسیر حرکت با هم برابر است. مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم را انرژی مکانیکی آن می‌نامیم و با E نشان می‌دهیم.

$$E_i = E_f$$

به عبارت دیگر، با چشم‌پوشی از نیروی مقاومت هوا انرژی مکانیکی جسم ثابت باقی می‌ماند که به این نتیجه پایستگی انرژی مکانیکی می‌گوییم.

مثال ۴ـ۱۳



مطابق شکل پسربچه‌ای یک سنگ‌ریزه را از ارتفاع یک متری سطح زمین در راستای قایم رو به بالا پرتاب می‌کند. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا سرعت عبور سنگ‌ریزه از لبهٔ پنجره‌ای را حساب کنید که تا زمین ۵/۲ متر فاصله دارد. ($g=10 m/s^2$)

پاسخ : با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی

$$E_f = E_i$$

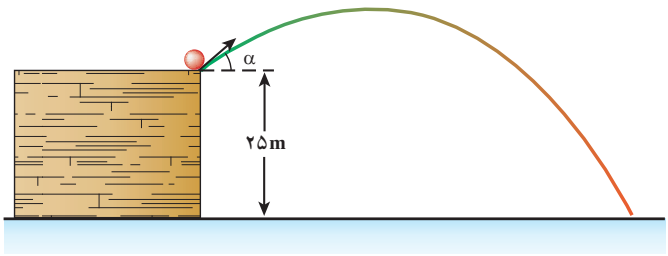
$$mgh_f + \frac{1}{2}mv_f^2 = mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2$$

در طرفین تساوی m را می‌توانیم حذف کنیم و با جایگزینی عددها مقدار v_f به دست می‌آید.

$$10\times 5/2 + \frac{1}{2}v_f^2 = 10\times 1 + \frac{1}{2}(10)^2$$

$$v_f = 4 m/s$$

مثال ۴ـ۱۴



از بالای یک بلندی به ارتفاع ۲۵ متر جسمی را مطابق شکل با سرعت ۲۰m/s پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم هنگام برخورد با زمین چقدر است؟ $g=10 m/s^2$ و از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید.

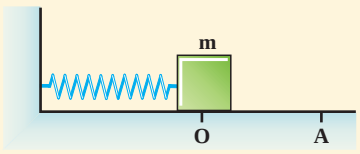
پاسخ : با توجه به اینکه مقاومت هوا نداریم، انرژی مکانیکی جسم پایسته است.

$$E_f = E_i \Rightarrow mgh_f + \frac{1}{2}mv_f^2 = mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\Rightarrow gh_f + \frac{1}{2}v_f^2 = gh_i + \frac{1}{2}v_i^2$$

$$0 + \frac{1}{2}v_f^2 = 10\times 25 + \frac{1}{2}\times 20^2 \quad \Rightarrow \quad v_f = 30 m/s$$

تمرین ۴ـ۳



مطابق شکل جسمی به جرم m به فنر متصل است و روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارد. جسم را تا نقطهٔ A می‌کشیم و سپس رها می‌کنیم. با توجه به اینکه به مجموع انرژی جنبشی جسم و انرژی پتانسیل کشسانی فنر انرژی مکانیکی مجموعهٔ جسم ــ فنر می‌گوییم، با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی چگونگی حرکت جسم را توصیف کنید.

اگر نتوانیم از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم، برای جسمی که در راستای قائم حرکت می‌کند، قضیهٔ کار و انرژی به‌صورت زیر نوشته می‌شود :

$$W_{\text{مقاومت هوا}} + W_{\text{وزن}} = \Delta K = K_f - K_i$$

و این در حالی است که رابطهٔ کار و انرژی پتانسیل گرانشی برای جسم هیچ تغییری نمی‌کند.

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_f - U_i)$$

با جایگزینی کار نیروی وزن در رابطهٔ قبلی می‌توان نوشت :

$$W_{\text{مقاومت هوا}} + (-\Delta U) = \Delta K$$

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = \Delta K + \Delta U$$

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = K_f - K_i + U_f - U_i$$

$$= (K_f + U_f) - (K_i + U_i) = E_f - E_i$$

یعنی با وجود مقاومت هوا، دیگر انرژی مکانیکی پایسته نمی‌ماند و تغییر می‌کند. توجه داریم در مواقعی که از مقاومت هوا چشم‌پوشی نمی‌شود با اینکه انرژی مکانیکی پایسته نمی‌ماند و در طول حرکت کم می‌شود، اما قانون پایستگی انرژی همواره برقرار است. یعنی همان‌قدر که انرژی مکانیکی کاهش می‌یابد، انرژی درونی جسم و هوای پیرامونش زیاد می‌شود و جسم و هوای پیرامونش گرم می‌شود.

مثال ۴ـ۱۵

از بالگردی که در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین با سرعت $10\,m/s$ در پرواز است، بسته‌ای به جرم $10\,kg$ رها می‌شود و با سرعت $20\,m/s$ به زمین می‌رسد. کار نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظهٔ رهاشدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ($g = 10\,m/s^2$ است.)

پاسخ :

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = E_f - E_i$$

$$= (K_f + U_f) - (K_i + U_i)$$

$$= (\frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f) - (\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i)$$

بسته در لحظهٔ جداشدن از بالگرد، سرعت $10\,m/s$ دارد.

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = (\frac{1}{2}\times 10\times 20^2 + 0) - (\frac{1}{2}\times 10\times 10^2 + 10\times 10\times 50)$$

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = -3500\,J$$

۴ـ۵ توان

در بخش ۴ـ۱ در مورد محاسبهٔ کار بحث شد. ولی، در مورد آهنگ انجام کار صحبتی نشد. کار می‌تواند کُند و یا تند انجام شود. مثلاً یک جسم را می‌توان در ۶ ثانیه یا ۱۰ ثانیه به یک ارتفاع معین رساند. در هر دو مورد کار انجام شده توسط بالابر یکسان است. ولی در مورد اول کار سریع‌تر انجام شده است. برای درنظرگرفتن سرعت انجام کار کمیّت مناسبی را به نام توان تعریف می‌کنیم.

فرض کنید نیروی F کار W را در مدت Δt انجام داده است. توان متوسط انجام کار به وسیلهٔ نیروی F ($\overline{P}$) از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به‌دست می‌آید :

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} \qquad (۸ـ۴)$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه (J/s) است. این یکا به احترام جیمز وات، که سرعت انجام کار موتورهای بخار را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. وات (W) نامیده می‌شود.

برطبق این تعریف، هر اندازه کار معینی در زمان کمتری انجام شود و یا در زمان معینی کار بیشتری انجام گیرد، توان انجام آن کار بیشتر است.

مثال ۴ـ۱۶

جرم اتاقک بالابری به همراه سرنشینان آن ۵۰۰kg است. اگر این بالابر در مدت ۱۰s از طبقهٔ همکف به طبقهٔ دوم در ارتفاع ۶ متری برود توان متوسط انجام کار به وسیلهٔ موتور بالابر چقدر است؟ ($g = ۱۰ m/s^۲$ است.)

پاسخ : با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی می‌توانیم بنویسیم :

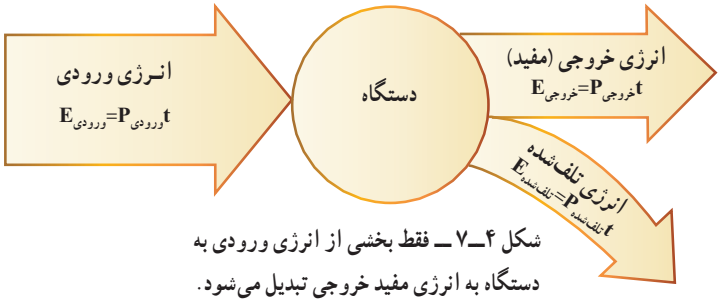
$$W_{وزن} + W_{موتور} = \Delta K$$
$$-mg(h_f - h_i) + W_{موتور} = ۰$$
$$W_{موتور} = mg(h_f - h_i)$$
$$W_{موتور} = ۵۰۰ \times ۱۰ \times ۶ = ۳۰۰۰۰ J$$

با توجه به تعریف توان متوسط داریم :

$$\overline{P} = \frac{W_{موتور}}{\Delta t} = \frac{۳۰۰۰۰}{۱۰} = ۳۰۰۰ W$$

هر دستگاه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی دستگاه) را به انرژی مورد نظر ما تبدیل می‌کند. مثلاً هدف از روشن‌کردن پنکه به حرکت درآوردن هواست و برای این منظور پنکه بخشی از انرژی الکتریکی ورودی را به کار مکانیکی (انرژی حرکتی) تبدیل می‌کند و بخش دیگر به‌صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند انرژی گرمایی و صدا درمی‌آید. یا با روشن‌کردن لامپ می‌خواهیم نور به ما برسد. لامپ رشته‌ای بخش کمی از انرژی الکتریکی را به نور (حدود ۲۰ درصد) و بقیهٔ آن را به انرژی درونی لامپ و محیط تبدیل می‌کند. شکل ۴ـ۸ طرح‌واره‌ایست که این نوع تبدیل انرژی‌ها در دستگاه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که طرح‌واره نشان می‌دهد همواره فقط بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی مفید نیز می‌گویند. نسبت انرژی مفید به انرژی ورودی را **بازده** می‌نامیم.



شکل ۴ــ۷ ــ فقط بخشی از انرژی ورودی به دستگاه به انرژی مفید خروجی تبدیل می‌شود.

$$\text{بازده} = \frac{\text{انرژی مفید یا کار انجام شده به وسیلهٔ دستگاه}}{\text{انرژی یا کار داده شده به دستگاه}} \qquad (۸ــ۴)$$

روشن است که مقدار این کسر همواره کوچک‌تر از ۱ است. معمولاً بازده را به شکل درصد بیان می‌کنیم.

$$\text{بازده برحسب درصد} = \text{بازده} \times ۱۰۰\ \%$$

این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به‌کار یا انرژی خروجی موردنظر تبدیل شده است.

مثال ۴ــ۱۷

مصرف بنزین خودرویی که با سرعت $۹۰\ km/h$ حرکت می‌کند در هر $۱۰۰\ km$، ۶ لیتر است. انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین $۳/۵\times ۱۰^{۷}\ J$ است. ۶۵ درصد انرژی ناشی از سوختن بنزین در این خودرو از طریق اگزوز و دستگاه خنک‌کنندهٔ موتور مستقیماً به هوا داده می‌شود و ۱۵ درصد از انرژی در دستگاه تهویه، در دینام و در اثر اصطکاک بین اجزای موتور مصرف می‌شود.

الف) چند درصد از انرژی، صرف راندن خودرو می‌شود؟

ب) توان مفید خودرو چقدر است؟

پ) یکای رایج برای توان خودرو اسب بخار (hp) است و هر اسب بخار، ۷۴۶ وات است. توان مفید این خودرو چند اسب بخار است؟

پاسخ :

$$E_{\text{مفید}} = (۶lit)(۳/۵\times ۱۰^{۷}\ J/lit)(\frac{۲۰}{۱۰۰}) = ۴/۲\times ۱۰^{۷}\ J$$

$$t = \frac{۱۰۰}{۹۰}h = \frac{۱۰۰}{۹۰}\times ۳۶۰۰s = ۴۰۰۰S$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{۶\times ۳/۵\times ۱۰^{۷}\times ۰/۲}{۴\times ۱۰^{۳}} = ۱/۰۵\times ۱۰^{۴}\ W$$

$$= \frac{۱/۰۵\times ۱۰^{۴}}{۷۴۶} = ۱۴\ hp$$

تمرین ۴ــ۳

در ساختمانی برای بالا بردن مصالح از یک بالابر الکتریکی استفاده می‌شود که با توان متوسط یک کیلووات، الکتریسیته مصرف می‌کند. اگر زمان مصرف انرژی الکتریکی در بالابر با زمان بالا بردن مصالح تا ارتفاع مورد نظر یکسان و بازده ۶۰٪ باشد، تعیین کنید که بالابر در چه مدت زمانی می‌تواند باری به جرم $۱۰۰\ kg$ را ۱۰ متر بالا ببرد.

غیاث الدین جمشید کاشانی

غیاث‌الدین کاشانی، در حدود سال ۷۳۰ هجری شمسی در کاشان، به دنیا آمد. از دوران کودکی و نوجوانی غیاث‌الدین، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در بیشتر کتاب‌ها از او به نام جمشیدبن مسعودبن محمود طبیب کاشانی یاد کرده‌اند. آن طور که از لقب جد پدری‌اش برمی‌آید، طبابت در خانواده ایشان رواج داشته است و آنها مهارت‌های فراوانی در این کار از خود نشان داده‌اند، اما غیاث‌الدین کوچک به پزشکی علاقه نشان نمی‌داد.

غیاث‌الدین در زمان تیموریان زندگی می‌کرد که با یورش‌های مغول به ایران همراه بود. در آن زمان شرایط فراگیری علم و دانش سخت بود اما پدر غیاث الدین باعث شد تا پسرش در مسیر استعداد واقعی‌اش پرورش پیدا کند. او چون به نجوم و حرکات سیارات و ستارگان علاقه فراوانی داشت از همان کودکی، با پشتکار به رصد شبانه می‌پرداخت. غیاث‌الدین جوان، پس از انجام تحقیق‌ها و مطالعاتش توانست ابزار نجومی مختلفی برای محاسبات دقیق حرکت و وضعیت ستارگان اختراع کند. همچنین کتاب‌های ارزشمند و نفیس زیادی را طی سال‌های ۷۸۶ هجری شمسی تا ۷۹۵ هجری شمسی در زمینهٔ نجوم تألیف کرد که از آن جمله‌اند:

ـ کتاب «سلّم السماء»، (نردبان آسمان): این کتاب دربارهٔ مسائل نجومی، ابعاد سیارات، قطرها و اندازهٔ اجرام آنهاست.

ـ کتاب «مختصری در علم هیأت»: در این کتاب به حل بعضی سؤال‌های مطرح شده در محاسبات نجومی پرداخته شده است و پانزده بخش دارد.

ـ کتاب «نزهة‌الحدائق»:این کتاب که به زبان عربی تألیف شده است، معرف چگونگی استفاده از وسیله‌ای نجومی به نام «طبق المناطق» است که خود کاشانی آن را اختراع کرده بود و با آن تقویم ستارگان هفتگانه و عرض و ابعاد آنها را در زمین محاسبه می‌کرد و خسوف و کسوف را به آسان‌ترین راه تشخیص می‌داد. او همچنین رسالهٔ «آلات رصد» را تألیف نمود که در آن به توضیح طرز کار ابزار مورد استفاده در نجوم پرداخته است که بعضی از آنها اختراع خود غیاث‌الدین بوده است.

از دیگر کارهای او درآن دوران می‌توان به اتمام کار تحقیقی زیج خودش، با نام «زیج خاقانی» اشاره کرد که در آن زمان، زیج نو و جدیدی بوده است.

در سال ۸۰۱ هجری شمسی به دعوت اُلُغ بیگ، حاکم سمرقند، کاشان را به قصد سمرقند ترک کرد. در سمرقند با دانشمندان زیادی از جمله دانشمندان تاشکندی رقابت داشت و به دلیل نبوغ بالای او، دانشمندان به او حسادت می‌کردند. رساله «محیطیه» وکتاب «مفتاح الحساب» را در سمرقند به زبان عربی تألیف کرد، «مفتاح الحساب» را بعدها سه دانشمند روسی، به زبان روسی منتشر کردند.

از مهم‌ترین اقدامات او، ساختن ساختمان رصدخانه در سمرقند بود، با ساخت ابزار نجومی‌ای که خودش آنها را طراحی کرده بود، تحقیقات و رصدهای شبانه در این رصدخانه آغاز شد. او قصد تهیه زیج دقیق‌تری را داشت، اما قبل از آنکه به پایان برسد، در سال ۸۰۹ هجری شمسی، هنگام رصد شبانه، از دنیا رفت.

پرسش‌های فصل چهارم

۱ دو جسم هم جرم A و B را به بالای برج بلندی می بریم. جسم A را با جرثقیل به‌طور مستقیم بالا می‌بریم و جسم B را خیلی آرام از پله هایی که برج را دور می‌زنند بالا می‌بریم. اگر دو جسم را در بالای برج کنار هم قرار دهیم کدام گزاره ها درست هستند؟

الف) انرژی پتانسیل گرانشی جسم B از A کمتر است، زیرا آرام تر به بالا برده شده است.

ب) انرژی پتانسیل گرانشی جسم A از Bکمتر است، زیرا برای رسیدن به بالای برج مسافت کمتری پیموده است.

پ) کار نیروی وزن برای هر دو جسم یکسان است.

ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو جسم در بالای برج یکسان است.

۲ آیا انرژی جنبشی می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی چطور؟ توضیح دهید.

۳ کتابی را از روی سطح زمین بر می‌داریم و آن را روی میز می‌گذاریم. در این فعالیت کار انجام می‌دهیم اما انرژی جنبشی کتاب تغییر نمی‌کند. آیا قضیه کار و انرژی در این مورد نقض شده است؟ توضیح دهید.

۴ وقتی می‌گوییم «توان مفید خروجی دستگاه A از توان مفید خروجی دستگاه B بیشتراست» منظورمان چیست؟

مسائل فصل چهارم

۱ شخصی به جرم ۵۰ کیلوگرم داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور ۵ متر بالا می‌رود. در هر یک از موارد زیر کار هر یک از نیروهای وارد بر شخص را حساب کنید.

الف) آسانسور با سرعت ثابت بالا می‌رود.

ب) آسانسور شتاب رو به بالای $2m/s^2$ دارد.

۲ در مسئلهٔ ۱ حاصل جمع کار نیروها را با استفاده از قضیه کار و انرژی بدست آورید.

۳ هواپیمایی به جرم ۱۰ تن در مدت یک دقیقه می‌تواند به سرعت ۳۰۰m/s برسد و تا ارتفاع ۵۰۰ متری اوج بگیرد.

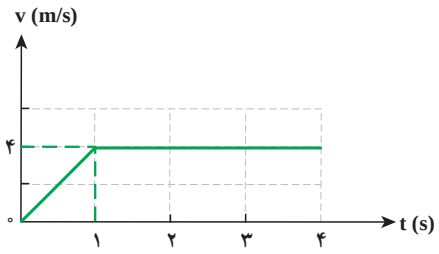
الف) کار نیروی وزن در این مدت چقدر است؟

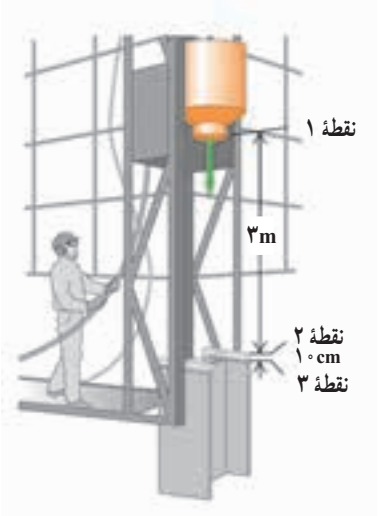
ب) چه نیروهایی غیر از وزن بر هواپیما اثر می‌کند؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت است؟

پ) جمع کار نیروهای وارد بر هواپیما چقدر است؟

ت) توان انجام کار نیروهای غیر از وزن را بیابید.

۴ نمودار سرعت ــ زمان متحرکی به جرم 5kg در شکل روبه‌رو داده شده است. جمع کار نیروهای وارد بر جسم را الف) به طور مستقیم ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی برای این متحرک حساب کنید.





۵ در یک دستگاه پایه‌کوبی، مطابق شکل روبه‌رو، پتکی به جرم ۲۰۰kg را به ارتفاع ۳m بالای پایهٔ آهنی می‌برند و آن را رها می‌کنند. پایه در اثر برخورد پتک، ۱۰cm در زمین فرو می‌رود. ریل‌های قائمی که پتک را هدایت می‌کنند، نیروی اصطکاک ثابت ۶۰N بر آن وارد می‌کنند. با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی الف) سرعت پتک در لحظهٔ قبل از برخورد به پایه را بدست آورید.

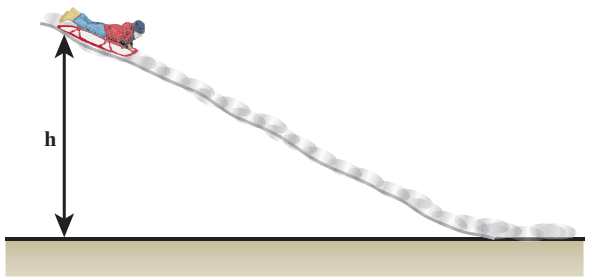
ب) کار نیرویی که پتک به پایه وارد می‌کند، چقدر است؟

۶ گلوله ای به جرم ۲۴ گرم با سرعت ۵۰۰m/s به‌طور افقی وارد تنهٔ درختی می‌شود. اگر گلوله به اندازهٔ ۱۲cm در تنه درخت فرو رود و متوقف شود، کارنیرویی که تنه به آن وارد می‌کند چقدر است؟

۷ خودرویی به جرم یک تن با سرعت ۷۲km/h درحرکت است. رانندهٔ خودرو ناگهان مانعی را در ۳۰ متری خود می‌بیند و ترمز می‌کند. چهار چرخ خودرو قفل می‌شود و پس از مدتی خودرو متوقف می‌شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین لاستیک خودرو و جاده ۰/۵ باشد، آیا خودرو به مانع برخورد می‌کند؟

این تمرین را یک بار با استفاده از قضیه کار و انرژی و بار دیگر با استفاده از معادله‌های فصل حرکت شناسی و دینامیک حل کنید.

۸ گلوله‌ای به جرم ۵۰g از دهانهٔ تفنگی با سرعت افقی ۱km/s خارج می‌شود و با سرعت ۰/۴km/s به زمین برخورد می‌کند. درمدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدراست؟ (ارتفاع شلیک گلوله را ۱/۵ m از سطح زمین درنظر بگیرید.)



۹ سورتمه‌ای که جرم آن به همراه سرنشین‌اش ۵۰kg است، از بالای تپه‌ای، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند.

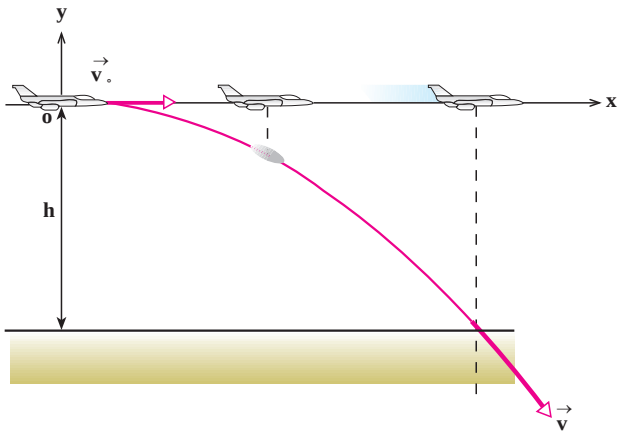
الف) اگر ارتفاع تپه ۱۰۰ متر و اصطکاک قابل چشم‌پوشی باشد، سرعت سورتمه در پایین تپه چقدر خواهد بود؟

ب) فرض کنید مسیر تپه اصطکاک داشته باشد و سرعت سورتمه در پایین مسیر ۳۰m/s شود. چه مقدار انرژی بر اثر اصطکاک به انرژی درونی تبدیل می‌شود؟

۱۰ یک ورزشکار پرتاب وزنه، با پیش گذاشتن پا سعی می‌کند بیشترین سرعت ممکن را به وزنه بدهد. اگر پرتابگر به طور متوسط نیروی ۲۰۰N را در جابه‌جایی ۱/۰ m روی وزنه‌ای به جرم ۷kg اعمال کند، سرعت وزنه هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدراست؟

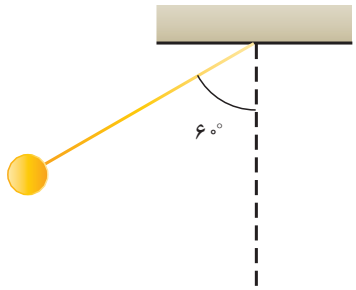
۱۱ پسر بچه‌ای گلولهٔ برفی به جرم ۲۰۰g را از زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع ۱/۵ m بالا می‌برد و آن را با سرعت ۱۰m/s پرتاب می‌کند. پسربچه چند ژول کار روی گلوله انجام می‌دهد؟

۱۲ در شکل روبه‌رو یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف نظر کنید.



۱۳ در شکل روبه‌رو هواپیما که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت ۹۰۰km/h به طور افقی پرواز می‌کند، بسته‌ای را رها می‌کند. سرعت بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید.)

۱۴ شخصی به جرم ۷۰ کیلوگرم، ۵۰ پله را در زمان یک دقیقه بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هرپله را ۳۰ سانتی‌متر فرض کنید.



۱۵ آونگی به جرم m و طول l را مطابق شکل روبه‌روبه اندازه 60° از وضعیت قائم منحرف و از حال سکون رها می‌کنیم.

الف) سرعت آونگ هنگامی که از وضعیت قائم می‌گذرد، چقدر است؟

ب) آونگ از طرف دیگر تا چه ارتفاعی بالا می‌رود؟(از مقاومت هوا صرف نظر کنید.)

۱۶ ارتفاع یک سد ۱۰۰متر است. توان الکتریکی مولدی که در پایین این سد قرار دارد، تقریباً برابر با ۲۰۰MW است.اگر ۸۰ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، درهر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی پره‌های توربین بریزد؟ (جرم هر متر مکعب آب را ۱۰۰۰kg بگیرید.)

۱۷ یک موتور آب الکتریکی حجمی از آب را با آهنگ $0/8\ m^3/s$ تا ارتفاع H = ۱۵m بالا می برد. اگر بازدهٔ موتور ۰/۸ باشد، توان الکتریکی مصرفی موتور چقدراست؟ انرژی جنبشی آب هنگام خروج از دهانهٔ موتور، در مقایسه با انرژی پتانسیل آن قابل چشم‌پوشی است و هر متر مکعب آب، ۱۰۰۰kg جرم دارد.

۱۸ بازدهٔ بدن انسان در تبدیل انرژی غذایی به کار تا حدودی به نوع فعالیت بستگی دارد. بازده بدن برای بالا رفتن از پله ۲۰٪ است. فرض کنید شخصی ۶۰ کیلوگرمی در مدت ۸s از پلکانی به ارتفاع ۲m بالا می رود. آهنگ مصرف انرژی شخص دراین فعالیت چقدر است؟

۱۹ آسانسوری با سرعت ثابت، ۱۰ نفر مسافر را در ۳ دقیقه تا ارتفاع ۸۰m بالامی برد. اگر جرم متوسط هر مسافر ۸۰kg و جرم آسانسور ۱۰۰۰Kg باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟