

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



تفت چمشید - شمال شیراز

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.

۱-۴ کار

همه‌روزه با افرادی مواجه هستیم که در حال انجام فعالیت‌های متفاوتی هستند. نجار را می‌بینیم که در حال 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 ۱-۴ دو نمونه از این فعالیت‌ها نشان داده شده‌اند. آیا شما نیز می‌توانید تعدادی از این فعالیت‌ها را نام ببرید؟

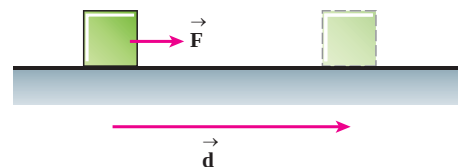
در بسیاری از فعالیت‌هایی که انجام می‌شوند:

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

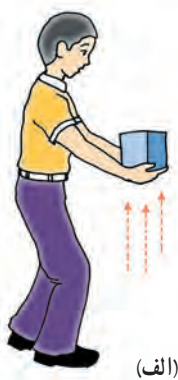
به عنوان مثال، در شکل ۱-۴ الف پسر به جعبه نیرویی به سمت بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل ۱-۴ ب مادری به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. کار در فیزیک را برای مثال‌هایی که در آنها بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود، به صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌کنیم. یعنی، اگر مطابق شکل ۲-۴ به جسم نیرویی به اندازه F وارد و آن را به اندازه d جابه‌جا کنیم، طبق تعریف، کار نیروی ثابت F ، با رابطه زیر داده می‌شود.

$$W_F = Fd \quad (۱-۴)$$

شکل ۲-۴ بر جسم نیروی $\vec{F}$ وارد می‌شود و جسم هم‌سو با نیرو به اندازه 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. همان‌طور که در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم یکای انرژی و گرما نیز ژول است.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۴-۱ شخص با وارد کردن نیرو به جسم و جابه‌جا کردن آن، کار انجام می‌دهد.

مثال ۱-۴

در شکل ۱-۴ ب اگر شخص نیروی افقی برابر 4 N را به کالسکه وارد و آن را به اندازه 10 m جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

پاسخ: بر طبق رابطه ۱-۴ داریم:

$$W = Fd$$

$$W = 4 \times 10 = 40\text{ J}$$

مثال ۲-۴

مطابق شکل ۱-۴ الف اگر شخصی نیروی برابر 30° نیوتون را به جسم اعمال کند و آن را به اندازه $5/10^\circ$ متر بالا ببرد چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

پاسخ:

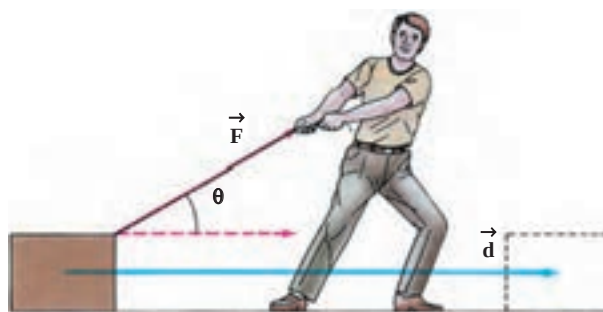
$$W = Fd$$

$$W = 30 \times 0.5 = 15\text{ J}$$

در شکل ۳-۴ نیروی که مرد بر جعبه وارد می‌کند، با جابه‌جایی جعبه زاویه θ می‌سازد. در چنین مواردی برای تعیین کار نیروی ثابت $\vec{F}$ در جابه‌جایی $\vec{d}$ از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$W_F = Fd\cos\theta$$

(۲-۴)



شکل ۳-۴ - مرد با نیروی F که با راستای افق زاویه θ می‌سازد، جعبه را به اندازه d جابه‌جا می‌کند.

اگر در این رابطه $\theta = 0^\circ$ باشد، رابطه ۱-۴ به دست می‌آید.

مثال ۳-۴

در شکل ۳-۴ اگر نیروی که مرد بر جعبه وارد می‌کند 50 N و زاویه آن با جابه‌جایی 60° باشد. کار نیروی مرد را در 3 متر جابه‌جایی حساب کنید.

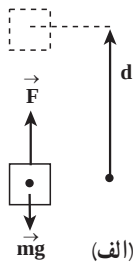
پاسخ: بر طبق رابطه ۲-۴ داریم:

$$W_F = Fd\cos\theta$$

$$W_F = 50 \times 3 \times \cos 60^\circ = 75\text{ J}$$

در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هر یک از نیروها را از رابطه

۲-۴ به دست آورد.



(الف)

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

الف) کار نیروی وزن در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) کار نیروی F در این جابه‌جایی چقدر است؟

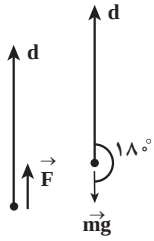
پاسخ: الف) در این حالت زاویه بین نیروی وزن و بردار جابه‌جایی 180° است (شکل ب).

در نتیجه، بر طبق رابطه ۲-۴ داریم:

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

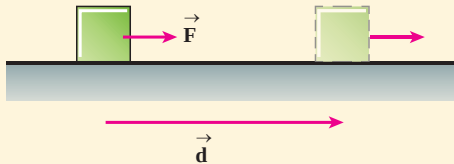
ب) زاویه نیروی F و جابه‌جایی، صفر است (شکل ب) در نتیجه داریم:

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



(ب)

تمرین ۱-۴



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 ۴-۵

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 می‌کند؟ توضیح دهید.

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

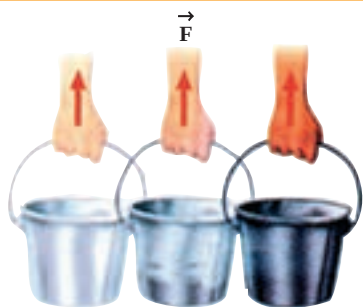
صفر است، کار او برابر است با:

$$W = Fd = mg \times 0 = 0 \text{ J}$$

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

می‌شود.

مثال ۴-۴



شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم m را مطابق شکل روبه‌رو حمل و به اندازه 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. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی 90° است، در نتیجه:

$$W = Fd\cos\theta = mgd\cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

مثال‌های ۴-۵ و ۴-۶ نشان می‌دهند کاری که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت‌وگوهای روزمره خود استفاده می‌کنیم، تفاوت دارد.

۲-۴ رابطه کار و انرژی جنبشی

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

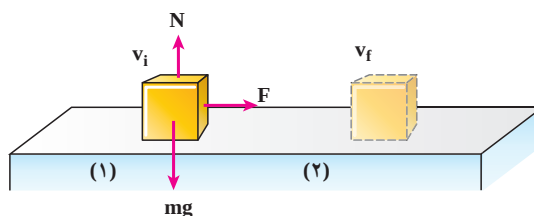
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (۳-۴)$$

داده می‌شود. سرعت تویی که در امتداد قائم به هوا پرتاب شده باشد، رفته رفته کاهش می‌یابد و در نتیجه انرژی جنبشی توپ نیز کم می‌شود. اینک فرض کنید توپ را از حال سکون از یک بلندی رها کنیم، سرعت و در نتیجه انرژی جنبشی توپ به تدریج افزایش می‌یابد. اکنون تویی را در نظر 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

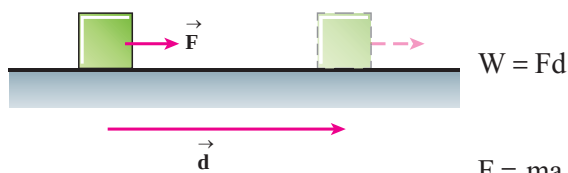
فعالیت ۱-۴

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 ۴-۴ روی سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارد. این جسم تحت تأثیر نیروی ثابت F به اندازه d روی سطح جابه‌جا می‌شود. کار نیروی عمودی سطح و وزن در این جابه‌جایی صفر است.



شکل ۴-۴ جسم تحت تأثیر نیروی ثابت F ، از سرعت اولیه v_i به سرعت نهایی v_f می‌رسد.



کار نیروی F با رابطه زیر داده می‌شود :

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

در اثر اعمال نیروی F سرعت جسم از مقدار v_i در نقطه (۱) به مقدار v_f در نقطه (۲) تغییر می‌کند. با استفاده از رابطه ۲-۱۴ داریم :

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

اگر از این رابطه a را به دست آوریم و در رابطه ۳-۱ قرار دهیم، خواهیم داشت :

$$F = m \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \quad (4-4)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطه ۴-۱ رابطه زیر به دست می‌آید :

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (5-4)$$

جمله اول طرف راست در این رابطه انرژی جنبشی جسم در نقطه (۲) و جمله دوم، انرژی جنبشی جسم در نقطه (۱) است.

در نتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به ترتیب با K_f و K_i نشان دهیم، رابطه (۴-۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$W = K_f - K_i \quad (6-4)$$

در این مثال خاص دیدیم که فقط کار یک نیرو غیر صفر بود. در مثال‌های دیگر اگر کار بیش از یک نیرو غیر صفر باشد، سمت چپ رابطه ۴-۶، مجموع آن کارها خواهد بود.

رابطه ۴-۶ قضیه کار و انرژی نامیده می‌شود. بر طبق 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 ۲-۴

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

توضیح دهید.

مثال ۷-۴



چتربازی از ارتفاع 800 متری از حال سکون رها می‌شود. جرم چترباز به همراه چترش 80 kg است. اگر او با سرعت 5 m/s به زمین برسد، به کمک قضیه کار و انرژی کار نیروی مقاومت هوا در مسیر سقوط را به دست آورید. (شتاب گرانش را 10 m/s^2 فرض کنید).
پاسخ: در این مثال، بر چترباز دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم:

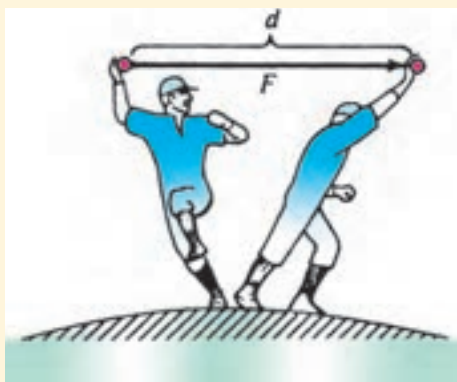
$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{مقاومت هوا}} = K_f - K_i$$

$$mgh \cos 0^\circ + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$80 \times 10 \times 800 \times 1 + W_{\text{مقاومت هوا}} = \frac{1}{2} \times 80 \times 5^2 - 0$$

$$640000 + W_{\text{مقاومت هوا}} = 1000 \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} = -639000 \text{ J}$$

تمرین ۲-۴



ورزشکاری مطابق شکل، بدن و دست خود را طوری حرکت می‌دهد تا توپ را با بیشترین سرعت پرتاب کند، اگر جرم توپ 5 kg باشد و ورزشکار نیروی تقریباً ثابت 200 N را در فاصله $2/5 \text{ m}$ جابه‌جایی توپ بر آن وارد کند، توپ با چه سرعتی پرتاب می‌شود؟

مثال ۸-۴



خودرویی به جرم 1200 kg با سرعت 72 km/h در حرکت است. اگر راننده ترمز کند، خودرو پس از طی مسافتی می‌ایستد. کار نیروی اصطکاک را از لحظه ترمز تا توقف کامل خودرو به دست آورید.
پاسخ: سرعت خودرو قبل از ترمز کردن برابر است با:

$$v_i = \frac{72 \times 1000}{3600} = 20 \text{ m/s}$$

در نتیجه، انرژی جنبشی آن قبل از ترمز کردن برابر است با:

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

همچنین $K_f = 0 \text{ J}$ است.

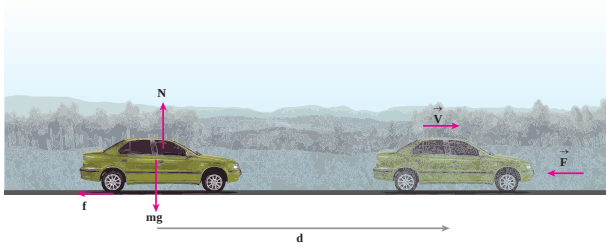
از طرف دیگر، نیروی اصطکاک، نیروی عمودی سطح و نیروی وزن نیروهایی هستند که بر جسم اثر می کنند. در نتیجه:

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

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

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

$$W_f = -240000 \text{ J}$$



از قضیه کار و انرژی برای محاسبه کمیت های مختلف نیز می توان استفاده کرد. این موضوع در مثال های زیر نشان داده شده است.

مثال ۴-۹



کامیونتی به جرم ۳ تن با سرعت ۳۶ km/h در حرکت است. راننده ناگهان ترمز محکمی می کند. به طوری که هر چهار چرخ آن قفل می شود. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک ها ۰/۸ باشد، کامیونت چند متر روی جاده سُر می خورد تا بایستد؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$ فرض می شود).
پاسخ: بر کامیونت نیروهای اصطکاک جنبشی، عمودی سطح و وزن وارد می شوند. با توجه به قضیه کار و انرژی داریم:

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

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

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

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

$$-150000 = 0.8 \times 3000 \times 10 \times d \times (-1) \Rightarrow d = 62.5 \text{ m}$$

آزمایش ۱-۴

وسایل لازم: در شیشه ترشی یا مربا، زمان سنج، متر فلزی یا نواری

شرح آزمایش

- ۱- روی زمین یک خط افقی بکشید و در شیشه مربا را پشت خط روی زمین قرار دهید.
- ۲- با پا، به در شیشه ضربه بزنید و از لحظه به حرکت درآمدن آن، زمان سنج را روشن و با توقف آن، زمان سنج را خاموش کنید. (برای آنکه بتوانید در شیشه را روی مسیر مستقیم به حرکت درآورید، لازم است قبلاً چند بار تمرین کنید.)
- ۳- با متر، جابه جایی در شیشه را اندازه بگیرید.
- ۴- با استفاده از رابطه $\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ، مقدار v_i را به دست آورید.
- ۵- به کمک قضیه کار و انرژی، ضریب اصطکاک جنبشی بین دو شیشه و کف اتاق را به دست آورید.
- ۶- آزمایش را چند بار تکرار کنید و میانگین ضریب اصطکاک را بیابید.

۳-۴ رابطه کار و انرژی پتانسیل

در بخش قبل رابطه میان کار و تغییر انرژی جنبشی را بررسی کردیم. در اینجا می خواهیم در مورد رابطه میان کار و تغییر انرژی پتانسیل بحث کنیم. در ابتدا مورد خاص انرژی پتانسیل گرانشی را در نظر می گیریم.

فرض کنید توپ کوچکی به جرم m را از ارتفاع h_i در راستای قائم و رو به بالا پرتاب می کنیم (شکل ۴-۵). سرعت توپ به تدریج کاهش می یابد تا اینکه سرانجام در ارتفاع h_f برای لحظه ای می ایستد. کار نیروی وزن در این جابه جایی برابر است با:

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

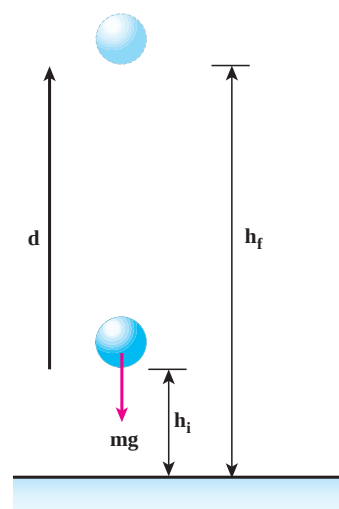
$$= -(mgh_f - mgh_i)$$

از فیزیک (۱) و آزمایشگاه به یاد داریم که انرژی پتانسیل گرانشی به جرم m در ارتفاع h از سطح زمین از رابطه $U = mgh$ به دست می آید. بنابراین می توان نوشت:

$$W_{\text{وزن}} = -(U_f - U_i) = -\Delta U \quad (4-7)$$

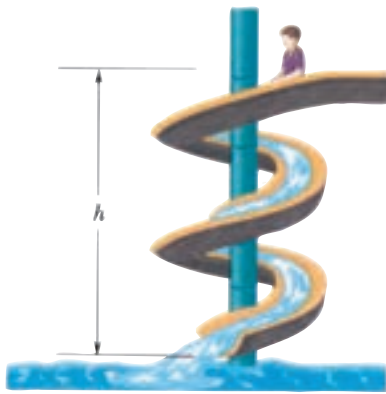
به عبارت دیگر، کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است.

اگرچه رابطه ۴-۷ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به بالا پرتاب می شود به دست آوردیم ولی برای هر جابه جایی دلخواهی برقرار است.



شکل ۴-۵

توپ از ارتفاع h_i پرتاب می شود و به ارتفاع h_f می رسد.



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

کودکی به جرم 25 kg از بالای یک سرسره آبی مطابق شکل به سمت پایین سر می خورد. اگر ارتفاع سرسره 8 متر باشد:

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

ب) کار نیروی وزن در این جابه جایی را محاسبه کنید. ($g = 10\text{ m/s}^2$) فرض می شود).

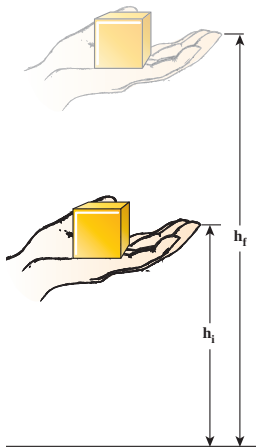
$$U_i = mgh_i = 25 \times 10 \times 8 = 2000\text{ J}$$

$$U_f = mgh_f = 25 \times 10 \times 0 = 0\text{ J}$$

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = U_i - U_f = 2000 - 0 = 2000\text{ J} \quad (\text{ب})$$

جسمی به جرم m را مانند شکل با دستمان از ارتفاع h_i به ارتفاع h_f می بریم و دوباره به حالت سکون می رسانیم. با چشم پوشی از مقاومت هوا کار نیروی دست در این جابه جایی را بیابید.

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



$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{دست}} = \Delta K$$

از آنجا که جسم در ابتدا و انتهای مسیر ساکن است، تغییر انرژی جنبشی آن صفر است. ($\Delta K = 0$)

$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{دست}} = 0 \Rightarrow W_{\text{دست}} = -W_{\text{وزن}}$$

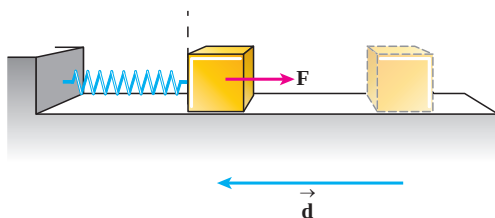
بنابراین:

با توجه به رابطه ۴-۷ می توانیم کار نیروی وزن را با استفاده از تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی به دست آوریم.

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

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

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



شکل ۴-۶ در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف جهت جابه جایی جسم به آن وارد می کند.

در تجربیات روزمره و همچنین در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیده ایم که فنر فشرده یا کشیده دارای انرژی پتانسیل کشسانی است. وقتی جسمی را به سوی فنری پرتاب می کنیم، پس از برخورد، فنر فشرده می شود و انرژی پتانسیل آن افزایش می یابد. در مدت تماس جسم با فنر، فنر نیرویی در خلاف جهت جابه جایی به جسم وارد می کند (شکل ۴-۶) یعنی کار نیروی فنر در این جابه جایی، منفی و تغییر انرژی پتانسیل کشسانی مثبت است. در مورد تغییر انرژی پتانسیل کشسانی نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می توانیم بگوییم:

$$W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{کشسانی}}$$

در شکل ۴-۶ جسم با انرژی جنبشی 20 J با فنر برخورد و آن را فشرده می‌کند. اگر بدانیم در لحظه توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی 15 J است،

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

ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی، کار نیروی اصطکاک در این جابه‌جایی را به دست آورید.

پاسخ:

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

انرژی پتانسیل اولیه فنر، صفر و در پایان 15 J است.

$$W_{\text{فنر}} = -(15 - 0) = -15\text{ J}$$

ب) بنابر قضیه کار و انرژی:

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

$$-15 + W_{\text{اصطکاک}} + 0 + 0 = 0 - 20 \Rightarrow W_{\text{اصطکاک}} = -5\text{ J}$$

فعالیت ۳-۴

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

۴-۴ 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 رابطه 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 قضیه کار و انرژی داریم:

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

با مقایسه این دو رابطه می‌توانیم بنویسیم:

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

$$U_i + K_i = U_f + K_f$$

و یا

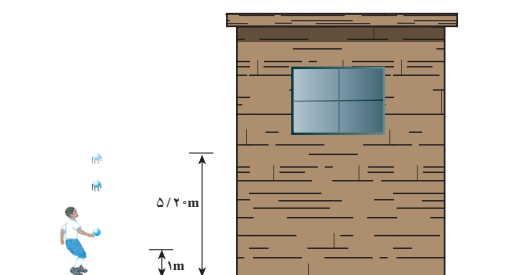
یعنی مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف از مسیر حرکت با هم برابر است.

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.



مطابق شکل پسر بچه‌ای یک سنگ‌ریزه را با سرعت اولیه $v_i = 10 \text{ m/s}$ از ارتفاع یک متری سطح زمین در راستای قائم رو به بالا پرتاب می‌کند. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا سرعت عبور سنگ‌ریزه از لبه پنجره‌ای را حساب کنید که تا زمین $5/2$ متر فاصله دارد. ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

پاسخ: با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی

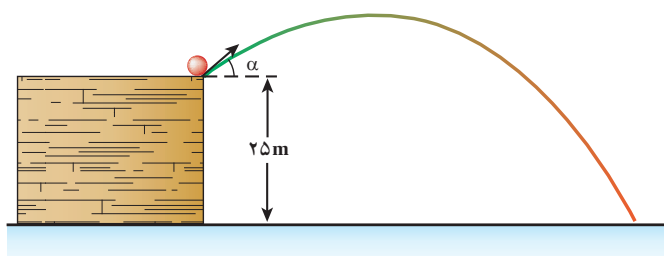
$$E_f = E_i$$

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

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

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

$$v_f = 4 \text{ m/s}$$



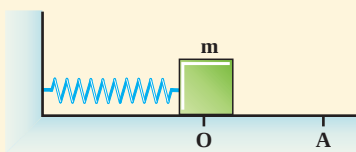
از بالای یک بلندی به ارتفاع ۲۵ متر جسمی را مطابق شکل با سرعت 20 m/s پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم هنگام برخورد با زمین چقدر است؟ $g = 10 \text{ m/s}^2$ و از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید.

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

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

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

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



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

اگر بتوانیم از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم، برای جسمی که در راستای قائم حرکت می‌کند، قضیه کار و انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود:

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

و این در حالی است که رابطه 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 رابطه 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 همان قدر که انرژی مکانیکی کاهش می‌یابد، انرژی درونی جسم و هوای پیرامونش زیاد می‌شود و جسم و هوای پیرامونش گرم می‌شود.

مثال ۴-۱۵

از بالگردی که در ارتفاع 50 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 لحظه رهاشدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید. ($g = 10 \text{ m/s}^2$ است.)



پاسخ:

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = E_f - E_i$$

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

$$= \left(\frac{1}{2} m v_f^2 + m g h_f \right) - \left(\frac{1}{2} m v_i^2 + m g h_i \right)$$

بسته در لحظه جداشدن از بالگرد، سرعت 10 m/s دارد.

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

$$W_{\text{مقاومت هوا}} = -3500 \text{ J}$$

۴-۵ توان

در بخش ۴-۱ در مورد محاسبه کار بحث شد. ولی، در مورد آهنگ انجام کار صحبتی نشد. کار می‌تواند کند 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 در نظر گرفتن سرعت انجام کار کمیت 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 وسیله نیروی F ($\bar{P}$) از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به دست می‌آید:

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} \quad (۴-۸)$$

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 ۴-۱۴

جرم اتاقک بالابری به همراه سرنشینان آن 500 kg است. اگر این بالابر در مدت 10 s از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع 6 m متری برود توان متوسط انجام کار به وسیله موتور بالابر چقدر است؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$ است.)

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

$$W_{\text{وزن}} + W_{\text{موتور}} = \Delta K$$

$$-mg(h_f - h_i) + W_{\text{موتور}} = 0$$

$$W_{\text{موتور}} = mg(h_f - h_i)$$

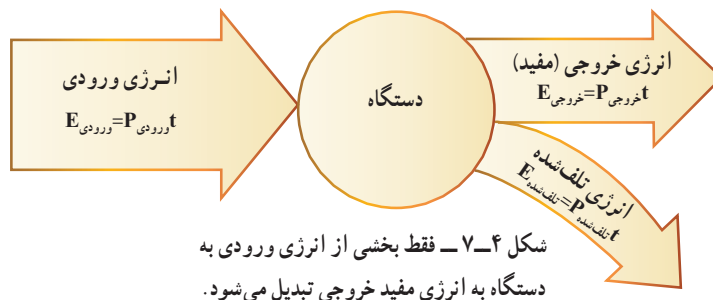
$$W_{\text{موتور}} = 500 \times 10 \times 6 = 30000 \text{ J}$$

با توجه به تعریف توان متوسط داریم:

$$\bar{P} = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t} = \frac{30000}{10} = 3000 \text{ W}$$

هر دستگاه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی دستگاه) را به انرژی مورد نظر ما تبدیل می‌کند. مثلاً هدف از روشن کردن 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 به صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند انرژی گرمایی و صدا درمی‌آید. یا با روشن کردن لامپ می‌خواهیم نور به ما برسد. لامپ رشته‌ای بخش کمی از انرژی الکتریکی را به نور (حدود ۲۰ درصد) و بقیه آن را به انرژی درونی لامپ و محیط تبدیل می‌کند. شکل ۴-۸ طرح‌واره‌ایست که این نوع تبدیل انرژی‌ها در دستگاه را نشان می‌دهد.

همان طور 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.



$$\text{بازده} = \frac{\text{انرژی مفید یا کار انجام شده به وسیله دستگاه}}{\text{انرژی یا کار داده شده به دستگاه}} \quad (۴-۸)$$

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

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

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

مثال ۴-۱۷

مصرف بنزین خودرویی که با سرعت 90 km/h حرکت می‌کند در هر $6, 100 \text{ km}$ ، ۶ لیتر است. انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین $۳/۵ \times 10^7 \text{ J}$ است. ۶۵ درصد انرژی ناشی از سوختن بنزین در این خودرو از طریق آگروز و دستگاه خنک‌کننده 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؟

$$E_{\text{مفید}} = (۶ \text{ lit})(۳/۵ \times 10^7 \text{ J/lit})\left(\frac{۲۰}{۱۰۰}\right) = ۴/۲ \times 10^۷ \text{ J}$$

پاسخ:

$$t = \frac{100}{90} \text{ h} = \frac{100}{90} \times ۳۶۰۰ \text{ s} = ۴۰۰۰ \text{ s}$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{۶ \times ۳/۵ \times 10^۷ \times ۰/۲}{۴ \times 10^۳} = 1/۰۵ \times 10^۴ \text{ W}$$

$$= \frac{1/۰۵ \times 10^۴}{۷۴۶} = ۱۴ \text{ hp}$$

تمرین ۴-۳

در ساختمانی برای بالا بردن مصالح از یک بالابر الکتریکی استفاده می‌شود که با توان متوسط یک کیلووات، الکتریسته 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

غیاث الدین کاشانی، در حدود سال ۷۳۰ هجری شمسی در کاشان، به دنیا آمد. از دوران کودکی و نوجوانی غیاث الدین، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در بیشتر کتاب‌ها از او به نام جمشید بن مسعود بن محمود طبیب کاشانی یاد کرده‌اند. آن‌طور 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 غیاث الدین کوچک به پزشکی علاقه نشان نمی‌داد.

غیاث الدین 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. غیاث الدین 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 زمینه نجوم تألیف کرد که از آن جمله‌اند:

- کتاب «**سَلَمُ السَّمَاءِ**»، (نردبان آسمان): این کتاب درباره مسائل نجومی، ابعاد سیارات، قطرها و اندازه اجرام آنهاست.

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

- کتاب «**نزهة الحدائق**»: 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 رساله «**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 غیاث الدین بوده است.

از دیگر کارهای او در آن 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 اُلغ 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**» و کتاب «**مفتاح الحساب**» را در سمرقند به زبان عربی تألیف کرد، «**مفتاح الحساب**» را بعدها سه دانشمند روسی، به زبان روسی منتشر کردند.

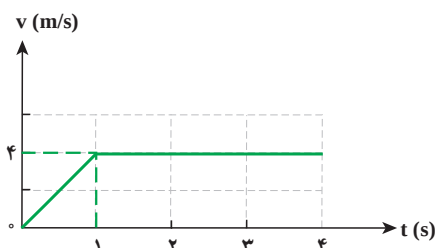
از مهم‌ترین اقدامات او، ساختن ساختمان رصدخانه در سمرقند بود، با ساخت ابزار نجومی‌ای که خودش آنها را طراحی کرده بود، تحقیقات و رصدهای شبانه در این رصدخانه آغاز شد. او قصد تهیه زیج دقیق‌تری را داشت، اما قبل از آنکه به پایان برسد، در سال ۸۰۹ هجری شمسی، هنگام رصد شبانه، از دنیا رفت.

پرسش‌های فصل چهارم

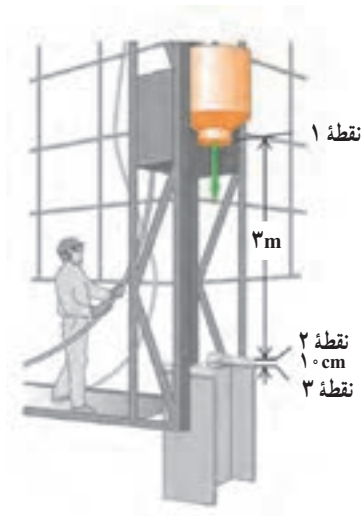
- ۱ دو جسم هم جرم A و B را به بالای برج بلندی می‌بریم. جسم A را با جرثقیل به طور مستقیم بالا می‌بریم و جسم B را خیلی آرام از پله‌هایی که برج را دور می‌زنند بالا می‌بریم. اگر دو جسم را در بالای برج کنار هم قرار دهیم کدام گزاره‌ها درست هستند؟
 (الف) انرژی پتانسیل گرانشی جسم B از A کمتر است، زیرا آرام‌تر به بالا برده شده است.
 (ب) انرژی پتانسیل گرانشی جسم A از B کمتر 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 بیشتر است» منظورمان چیست؟

مسائل فصل چهارم

- ۱ شخصی به جرم 50 کیلوگرم داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور 5 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 2 m/s^2 دارد.
- ۲ در مسئله ۱ حاصل جمع کار نیروها را با استفاده از قضیه کار و انرژی بدست آورید.
- ۳ هواپیمایی به جرم 10 تن در مدت یک دقیقه می‌تواند به سرعت 300 m/s برسد و تا ارتفاع 5000 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 - زمان متحرکی به جرم 5 kg 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.



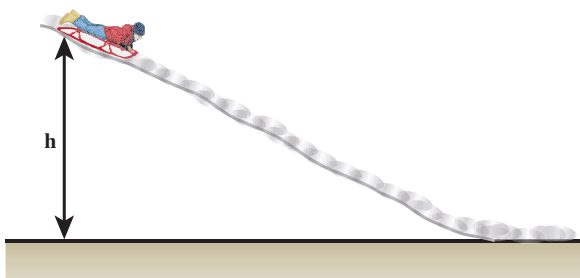
۵ در یک دستگاه پایه کوبی، مطابق شکل روبه‌رو، پتکی به جرم 200 kg را به ارتفاع 3 m بالای پایه آهنی می‌برند و آن را رها می‌کنند. پایه در اثر برخورد پتک، 10 cm در زمین فرو می‌رود. ریل‌های قائمی که پتک را هدایت می‌کنند، نیروی اصطکاک ثابت 60 N بر آن وارد می‌کنند. با استفاده از قضیه کار و انرژی الف) سرعت پتک در لحظه قبل از برخورد به پایه را بدست آورید.

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

۶ گلوله‌ای به جرم 24 گرم با سرعت 50 m/s به‌طور افقی وارد تنه درختی می‌شود. اگر گلوله به اندازه 12 cm در تنه درخت فرو رود و متوقف شود، کارنیروی که تنه به آن وارد می‌کند چقدر است؟

۷ خودرویی به جرم یک تن با سرعت 72 km/h در حرکت است. راننده خودرو ناگهان مانعی را در 30 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 0.5 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 50 g از دهانه تفنگی با سرعت افقی 1 km/s خارج می‌شود و با سرعت 4 km/s به زمین برخورد می‌کند. در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟ (ارتفاع شلیک گلوله را $1/5\text{ m}$ از سطح زمین در نظر بگیرید.)



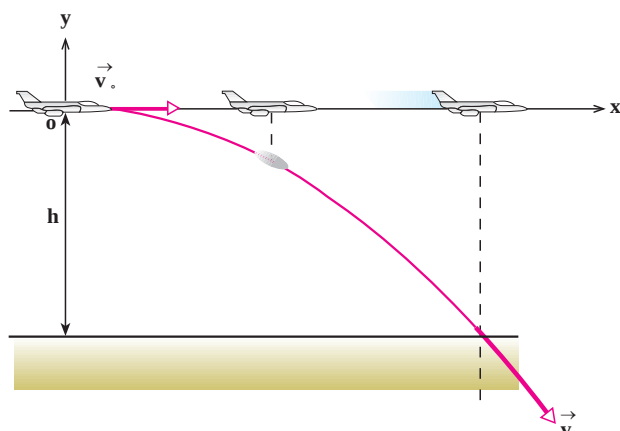
۹ سورتبه‌ای که جرم آن به همراه سرنشین اش 50 kg است، از بالای تپه‌ای، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. الف) اگر ارتفاع تپه 100 متر و اصطکاک قابل چشم‌پوشی باشد، سرعت سورتبه در پایین تپه چقدر خواهد بود؟ ب) فرض کنید مسیر تپه اصطکاک داشته باشد و سرعت سورتبه در پایین مسیر 30 m/s شود. چه مقدار انرژی بر اثر 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 به‌طور متوسط نیروی 2000 N را در جابه‌جایی $1/5\text{ m}$ روی وزنه‌ای به جرم 7 kg اعمال کند، سرعت وزنه هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟

۱۱ پسر بچه‌ای گلوله برفی به جرم 200 g را از زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع $1/5\text{ m}$ بالا می‌برد و آن را با سرعت 10 m/s پرتاب می‌کند. پسر بچه چند ژول کار روی گلوله انجام می‌دهد؟

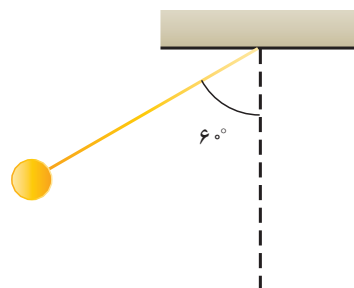


۱۲ در شکل روبه‌رو یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A از حال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف نظر کنید.



۱۳ در شکل روبه‌رو هواپیما که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت ۹۰۰ km/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 هر پله را ۳۰ سانتی متر فرض کنید.



۱۵ آونگی به جرم m و طول l را مطابق شکل روبه‌رو به اندازه ۶۰° 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 ۱۰۰ متر است. توان الکتریکی مولدی که در پایین این سد قرار دارد، تقریباً برابر با ۲۰۰ MW است. اگر ۸۰ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی پره‌های توربین بریزد؟ (جرم هر متر مکعب آب را ۱۰۰۰ kg بگیرد.)

۱۷ یک موتور آب الکتریکی حجمی از آب را با آهنگ ۸ m³/s تا ارتفاع H = ۱۵m بالا می‌برد. اگر بازده موتور ۸۰٪ باشد، توان الکتریکی مصرفی موتور چقدر است؟ انرژی جنبشی آب هنگام خروج از دهانه موتور، در مقایسه با انرژی پتانسیل آن قابل چشم‌پوشی است و هر متر مکعب آب، ۱۰۰۰ kg جرم دارد.

۱۸ بازده 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 می‌رود. آهنگ مصرف انرژی شخص در این فعالیت چقدر است؟

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