فصل ۱

کار و انرژی

در کدام قسمت از مسیر انرژی جنبشی دستگاه بیشینه و انرژی پتانسیل گرانشی آن کمینه است؟

سیمای فصل

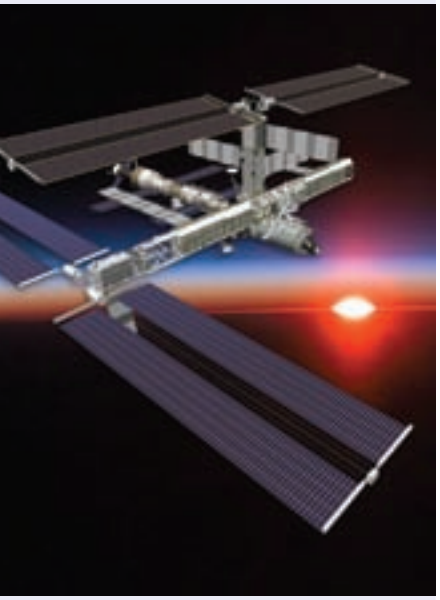
۵-۱ کار

۵-۲ کار و انرژی جنبشی

۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

۵-۴ توان

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها



کار و انرژی

پیشـرفت و بقای تمدن بشری بر پایه‌ی دست‌یابی به انرژی و مصرف ثمربخش آن استوار است. یکی از هدف‌های بنیادی فیزیک نیز مطالعه و بررسـی انرژی اسـت که همواره درباره‌ی آن حرف می‌زنیم.

پرواز در آسـمان و بر فراز دریاها، بالا بردن وسـایل به طبقه‌ی فوقانی یک سـاختمان، فرستادن ماهواره به مدار خاصی دور زمین، پرتاب کردن توپ بازی، فرسـتادن انسـان به ایستگاه بین‌المللی فضایی و ... نمونه‌هایی از حرکت هسـتند که به انرژی نیازمندند (شکل ۵-۱). دست یافتن به منابع انرژی از ضروری‌ترین نیازهای هر کشور است و همین موضوع ملت‌هایی را وارد جنگ کرده است. جنگ‌هایی هم بوده‌اند که در نتیجه‌ی کاربرد ناگهانی و بی‌امان انرژی، از سـوی یکی از طرف‌های درگیر، به پایان رسـیده‌اند. در علوم دوره‌ی راهنمایی و همچنین درس فیزیک (۱) و آزمایشـگاه با مفهوم انرژی و انواع آن آشنا شدیم. همچنین دیدیم که انرژی می‌تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل شود و در حین این تبدیل مقدار آن پایسته بماند. در این فصل علاوه بر این‌که با تفصیل بیش‌تری درباره‌ی انرژی بحث خواهیم کرد با مفهوم کار و ارتباط آن با انرژی آشنا می‌شویم.

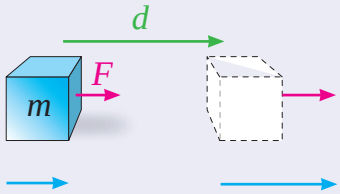
شکل ۵-۱

۵-۱ کار

واژه‌ی کار در فیزیک تعریف دقیقی دارد و با آنچه معمولاً در گفتگوهای روزمره از آن استفاده می‌کنیم متفاوت است. اگر مطابق شکل ۵-۲ نیروی ثابتی به بزرگی F در امتداد افق به جسمی وارد شود و آن را به اندازه‌ی d جابه‌جا کند، بنا بر تعریف، کار نیروی ثابت F با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$W=Fd$$

یکای کار نیوتون متر (N.m) است که ژول (J) نامیده می‌شود. به این ترتیب اگر نیرویی به بزرگی ۱N جسمی را به اندازه‌ی ۱m در امتداد نیرو جابه‌جا کند، کار انجام شده برابر ۱J است



شکل ۵-۲ نیروی ثابت F جسمی را به اندازه‌ی d در جهت نیرو جابه‌جا کرده است. کار انجام شده توسط این نیرو برابر W=Fd است.

پرسش ۵-۱

توضیح دهید کار کمیتی نرده‌ای است یا برداری.

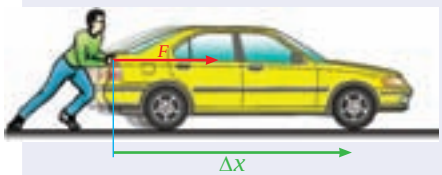
مثال ۵-۱

شکل ۵-۳ شخصی را نشان می‌دهد که در حال هل دادن یک اتومبیل در جاده‌ای مستقیم است. اگر بزرگی نیروی افقی لازم برای غلبه بر اصطکاک و تداوم حرکت آن ۷۵۰N باشد، چقدر کار باید توسط این شخص انجام شود تا اتومبیل ۲۰m جابه‌جا شود؟

حل: بزرگی نیروی وارد شده، F =۷۵۰N و بزرگی جابه‌جایی در جهت نیرو d =۲۰m است. با توجه به تعریف کار برای نیروی ثابت داریم

$$W= Fd =(۷۵۰N)\ (۲۰m) = ۱۵۰۰۰N.m=۱۵۰۰۰J$$

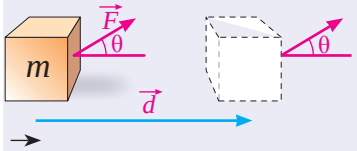
برای سادگی می‌توانید نتیجه‌ی حاصل را بر حسب کیلوژول (kJ) به صورت ۱۵kJ نیز بنویسید.



شکل ۵-۳

در صورتی‌که مطابق شکل ۵-۴ نیروی وارد شده به جسم با امتداد جابه‌جایی جسم زاویه‌ی Θ بسازد، کار نیروی ثابت F از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W=Fd\cos\Theta$$



شکل ۵-۴ راستای نیروی ثابت $\vec{F}$ با جابه‌جایی $\vec{d}$ زاویه‌ی Θ می‌سازد.

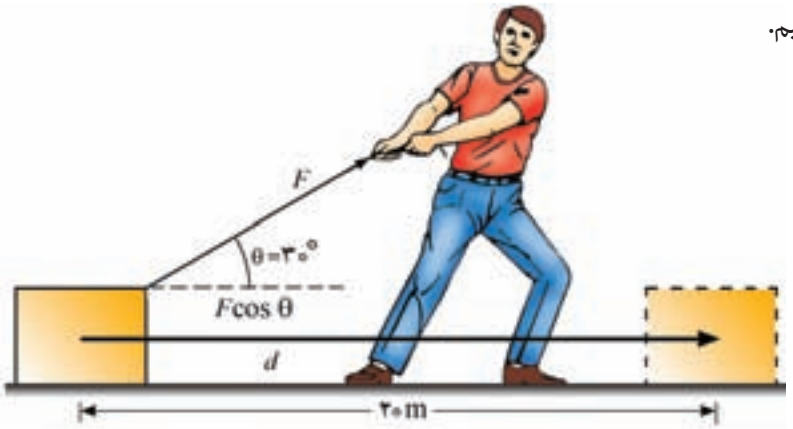
مثال ۵-۲

شکل ۵-۵ شخصی را نشان می‌دهد که با نیروی ثابت ۲۰۰N در حال کشیدن جسمی روی یک سطح افقی است. کار انجام شده پس از جابه‌جایی جسم به اندازه‌ی ۷m چقدر است؟

حل: بزرگی نیروی ثابت وارد شده به جسم $F=200N$، جابه‌جایی جسم $d=7m$ و زاویه‌ای که راستای نیرو با امتداد جابه‌جایی جسم می‌سازد $\theta=30^\circ$ است. پس داریم

$$W=Fd\cos\theta=(200N)(7m)(\cos30^\circ)=700\sqrt{3}\,J$$

با توجه به این که $\sqrt{3}\simeq1/7$ است، پاسخ نهایی را می‌توانیم به صورت $W\simeq1190J$ بنویسیم.



شکل ۵-۵

جیمز ژول (۱۸۸۹-۱۸۱۸) فیزیکدان انگلیسی که نشان داد گرما صورتی از انرژی است. یکای انرژی در SI به افتخار فعالیت‌های او ژول (J) است.

تمرین ۵-۱

همان‌طور که از فصل سوم فرا گرفته‌ایم نیروی وزن $\vec{W}$ و نیروی عمودی تکیه‌گاه $\vec{N}$ بر جسم شکل ۵-۵ وارد می‌شود. در حین جابه‌جایی جسم در امتداد افق، کار انجام شده توسط هر یک از این دو نیرو چقدر است؟

در مواردی که بیش از یک نیروی ثابت به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار انجام شده توسط هریک از نیروها را به طور جداگانه به دست آورد. در مثال ۵-۳ این موضوع برای جسمی به جرم m که دو نیروی ثابت به طور همزمان به آن وارد می‌شود بررسی شده است.

مثال ۵-۳

جسمی به جرم $m=2kg$ را مطابق شکل ۵-۶ با نیروی ثابت و رو به بالای $\vec{F}$ و با حرکت یکنواخت ۱/۲m بالا می‌بریم. با فرض این‌که $g=10N/kg$ است،

الف) کار هریک از نیروهای وارد شده به جسم را به طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار برایند نیروهای وارد بر جسم را به دست آورید.

حل: با توجه به این که جسم به طور یکنواخت رو به بالا حرکت می‌کند، از فصل سوم می‌دانیم که باید برایند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد. به عبارت دیگر باید بزرگی نیروی رو به بالای $\vec{F}$ با بزرگی وزن جسم که به طرف پایین بر آن وارد می‌شود یکسان باشد. یعنی، $F=W$. از آنجا که وزن جسم $W=mg=(2kg)(10N/kg)=20N$ است، داریم $F=20N$.

الف)ابتدا کار نیروی ثابت $\vec{F}$ را پیدا می‌کنیم. چون جابه‌جایی جسم در جهت نیروی $\vec{F}$ است ($\theta = 0$)، کار انجام شده توسط این نیرو برابر است با:

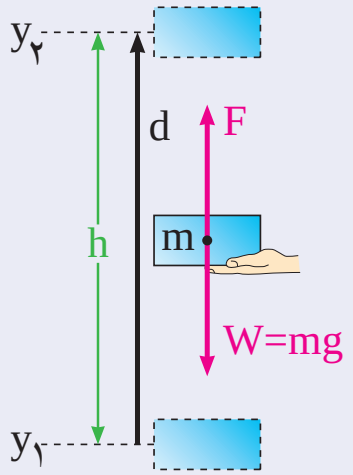
$$W=Fd\cos\theta = (20N)(1/2m)(\cos 0^\circ)=24J$$

توجه کنید $\cos 0^\circ=1$.

از آنجا که نیروی وزن بر خلاف جهت جابه‌جایی جسم است ($\theta=180^\circ$)، کار انجام شده توسط نیروی وزن برابر است با:

$$W= Fd\cos\theta = (20N)(1/2m)(\cos 180^\circ) = -24J$$

ب) با توجه به شکل ۵-۶ دو نیرو بر جسم وارد شده است، نیروی $\vec{F}$ رو به بالا و نیروی وزن $\vec{W}$ رو به پایین. چون بزرگی این دونیرو یکسان است، برایند آن‌ها صفر خواهد شد. بنابراین کار برایند این دو نیرو نیز صفر می‌شود (چرا؟).



شکل ۵-۶ جسمی را به طور یکنواخت در راستای قائم جابه‌جا می‌کنیم.

۵-۲ کار و انرژی جنبشی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی متناظر با حالت حرکت جسم، انرژی جنبشی نامیده می‌شود و مقدار آن برای جسمی که در حال سکون باشد، صفر است. برای جسمی به جرم m که با سرعت v در حرکت است، داریم:

$$K=\frac{1}{2}mv^2$$

شبیه‌سازی

- کار نیروی ثابت

مثال ۵-۴

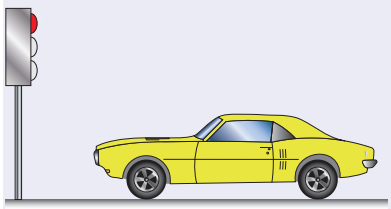
اتومبیلی به جرم ۱۲۰۰kg که با سرعت ۱۵m/s در حرکت است با قرمز شدن چراغ به آرامی ترمز می‌کند و پس از طی مسافتی متوقف می‌شود (شکل ۵-۷). تغیر انرژی جنبشی اتومبیل را در این دو وضعیت پیدا کنید.

حل: سرعت اتومبیل در وضعیت اول $v_1=15\ m/s$ و در وضعیت دوم که به حال سکون در می‌آید $v_2=0$ است.

بنابراین انرژی جنبشی اتومبیل در این دو وضعیت برابر است با:

$$K_1=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}(1200kg)(15m/s)^2=135000J$$

$$K_2=\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}(1200kg)(0)=0$$



شکل ۵-۷ اتومبیلی با قرمز شدن چراغ متوقف می‌شود.

اگر تغییر انرژی جنبشی اتومبیل را به صورت $\Delta K=K_2-K_1$ نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\Delta K= 0-135000\ J= -135000\ J$$

علامت منفی نشان می‌دهد انرژی جنبشی اتومبیل کاهش یافته است.

بیش‌تر بدانید

- انرژی و فناوری
- مقایسه‌ی انرژی جنبشی و تکانه

پرسش ۵-۲

روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام مختلف در اطراف خود هستیم. مثال‌هایی را در این مورد به کلاس ارایه دهید.

بین کار و تغییر انرژی جنبشی یک جسم رابطه‌ای وجود دارد که به آن **قضیه‌ی کار – انرژی** گفته می‌شود. بنابراین قضیه، **کار برایند نیروهای وارد بر یک جسم در یک جابه‌جایی معین برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه‌جایی.** به عبارت دیگر، اگر انرژی جنبشی جسمی در دو وضعیت متفاوت به ترتیب K_1 و K_2 باشد، داریم:

$$W=K_2-K_1$$

که در آن W کار برایند نیروهای وارد بر جسم است.

با توجه به رابطه‌ی بالا می‌توان دریافت که انرژی جنبشی اجسام چگونه تغییر می‌کند. اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی مثبت باشد، $K_2> K_1$ است و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی منفی باشد، $K_2< K_1$ است و انرژی جنبشی آن کاهش می‌یابد. سرانجام اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، $K_2=K_1$ است و انرژی جنبشی آن تغییر نمی‌کند.

مثال ۵-۵

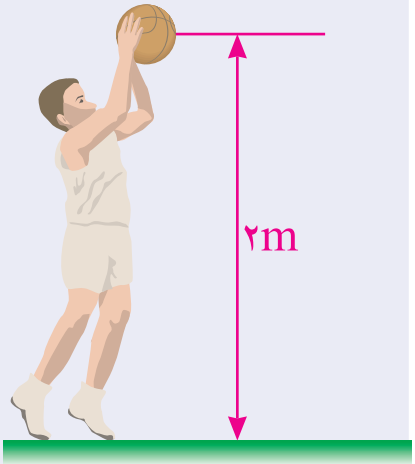
توپی به جرم ۵۰۰ گرم را از ارتفاع ۲ متری سطح زمین رها می‌کنیم (شکل ۵-۸) با استفاده از قضیه‌ی کار – انرژی، انرژی جنبشی توپ را وقتی به زمین می‌رسد پیدا کنید. مقاومت هوا را نادیده بگیرید و شتاب گرانش را ۱۰N/kg فرض کنید.

حل: در این مثال تنها نیروی وزن بر جسم وارد می‌شود. کار این نیرو برابر است با:

$$W=Fd\cos\theta = mghcos0^\circ$$
$$= (0/5kg)\ (2m)\ (10N/kg)\ (1) = 10J$$

چون توپ از ارتفاع ۲ متری رها شده است، انرژی جنبشی اولیه‌ی آن صفر است. بنا بر قضیه‌ی کار – انرژی داریم:

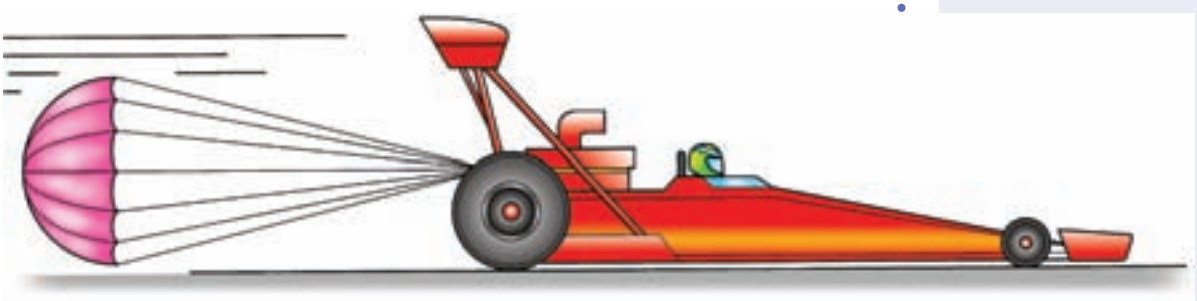
$$W=K_2-K_1$$
$$10J = K_2-0 \Rightarrow K_2= 10J$$



شکل ۵-۸ انرژی جنبشی توپ در لحظه‌ی رها شدن صفر است.

مثال ۵-۶

یک اتومبیل مسابقه‌ای به جرم ۶۰۰kg با سرعت ۲۸۸km/h در حرکت است. این اتومبیل برای توقف سریع علاوه بر ترمز کردن از چتری که در پشت آن قرار دارد استفاده می‌کند (شکل ۵-۹). کار نیروهایی را که سبب توقف سریع اتومبیل می‌شوند پیدا کنید.



شکل ۵-۹

حل: سرعت اتومبیل قبل از ترمز گرفتن برابر است با

$$v_1 = ۲۸۸\ km/h = ۲۸۸ \times \frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = ۸۰m/s$$

در نتیجه انرژی جنبشی آن در این وضعیت برابر است با

$$K_1 = \frac{۱}{۲} mv_1^۲ = \frac{۱}{۲}(۶۰۰kg)(۸۰m/s)^۲ = ۱۹۲۰۰۰۰J$$

وقتی اتومبیل ترمز می‌گیرد نیروی اصطکاک از طرف زمین به آن وارد می‌شود. همچنین وقتی چترش را باز می‌کند نیروی مقاومت هوا افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر نیروی اصطکاک و نیروی مقاومت هوا بر خلاف جهت حرکت اتومبیل بر آن وارد و سبب توقف سریع اتومبیل مسابقه‌ای می‌شوند. اگر کار این دو نیروی مقاوم در برابر حرکت را با W_f نشان دهیم، کار برایند نیروهای وارد بر اتومبیل برابر است با

$$W = W_f + W_N + W_{mg} \quad \text{(کار برایند نیروها)}$$

که در آن W_N کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و W_{mg} کار نیروی وزن اتومبیل است.

چون نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن عمود بر راستای جابه‌جایی اتومبیل‌اند، کار ناشی از آن‌ها صفر است (چرا؟). بنابراین با توجه به قضیه‌ی کار - انرژی داریم

$$W = K_2 - K_1 \quad \text{و} \quad W = W_f + ۰ + ۰ \Rightarrow W_f = K_2 - K_1$$

$$W_f = ۰ - ۱۹۲۰۰۰۰J = -۱۹۲۰kJ$$

علامت منفی نشان می‌دهد کار نیروهای مقاوم سبب کاهش انرژی جنبشی جسم می‌شوند.

تمرین ۵-۲

بازیکنی توپ فوتبالی به جرم ۴۵۰ گرم را از نقطه‌ی پنالتی با سرعت ۱۸m/s به طرف دروازه شـوت و توپ با سرعت ۱۵m/s به دست‌های دروازه‌بان برخورد می‌کند. اگر سرعت توپ تنها به دلیل مقاومت هوا کاهش یافته باشد، کار انجام شده برای غلبه بر نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

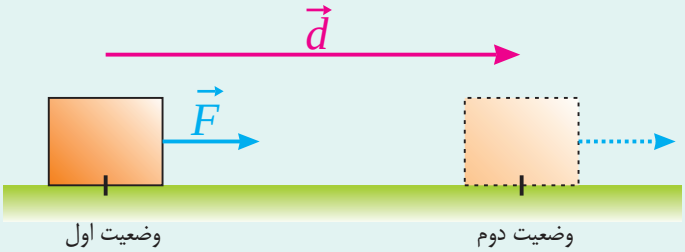
مطالعه‌ی آزاد

اثبات قضیه کار–انرژی

برای اثبات قضیه‌ی کار–انرژی، جسمی به جرم m را مطابق شکل ۵ – ۱۰ در نظر بگیرید که برایند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر $\vec{F}$ اسـت. اگر جسـم تحت‌تأثیر این نیرو به اندازه‌ی d جابه‌جا شود، کار انجام شده برابر است با

$$W=Fd$$

چون F بزرگی برایند نیروهای وارد بر جسم است، از قانون دوم نیوتون داریم



شکل ۵-۱۰ جسم در راستای برایند نیروها (محور افقی x) شتاب می‌گیرد.

$$F=ma \quad (۱)$$

چون بر اثر اعمال نیروی ثابت F، جسم با شتاب ثابت a حرکت می‌کند، بنابراین پس از جابه‌جایی d، سرعت آن از مقدار $v_۱$ (در وضعیت اول) به مقدار $v_۲$ (در وضعیت دوم) می‌رسد. به این ترتیب با توجه به معادله‌های حرکت با شتاب ثابت که در فصل دوم آشنا شدیم، داریم

$$v_۲^۲-v_۱^۲=۲ad$$

یا

$$a=\frac{v_۲^۲-v_۱^۲}{۲d} \quad (۲)$$

با قرار دادن رابطه‌ی (۲) در رابطه‌ی (۱) داریم

$$F=m\left(\frac{v_۲^۲-v_۱^۲}{۲d}\right)$$

یا

$$Fd=\frac{۱}{۲}mv_۲^۲-\frac{۱}{۲}mv_۱^۲ \Rightarrow W=K_۲-K_۱$$

عبارت بالا همان رابطه‌ی مربوط به قضیه‌ی کار–انرژی است، یعنی $W=K_۲-K_۱$.

۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی‌ای است که جسم به علت ارتفاعش از سطح زمین دارد. یعنی اگر جسمی مطابق شکل ۵-۱۱ در ارتفاع h از سطح زمین باشد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی است که با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

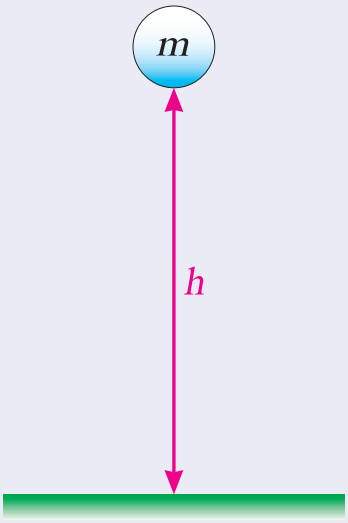
$$U=mgh$$

هنگامی‌که جسم از ارتفاع h رها می‌شود، انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی آن در حین سقوط تغییر می‌کند. در حین سقوط، انرژی پتانسیل گرانشی جسم کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد ولی مجموع این دو انرژی (در صورت نادیده گرفتن اثر مقاومت هوا) در هر لحظه پایسته (ثابت) می‌ماند.

مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل انرژی مکانیکی نامیده می‌شود. این انرژی را معمولاً با E نمایش می‌دهند. بنابراین داریم

$$E=K+U$$

به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که در نبود مقاومت هوا انرژی مکانیکی یک جسم در حین سقوط آزاد پایسته است.



شکل ۵-۱۱ هر جسمی به دلیل ارتفاعش از سطح زمین دارای انرژی پتانسیل گرانشی است.

مثال ۵-۷

از ارتفاع ۴ متری سطح زمین گلوله‌ای را در شرایط خلأ با سرعت ۱۰m/s به طرف بالا پرتاب می‌کنیم (شکل ۵-۱۲) با فرض $g=10N/kg$ ، مطلوب است

الف) بیش‌ترین ارتفاع گلوله نسبت به سطح زمین،

ب) بزرگی سرعت گلوله هنگام برخورد به سطح زمین.

حل: در لحظه‌ی پرتاب گلوله، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن به ترتیب برابر K_1 و U_1 است. هنگامی‌که گلوله به بیش‌ترین ارتفاع از سطح زمین می‌رسد، سرعت آن صفر و در نتیجه $K_2=0$ است. اگر انرژی پتانسیل گلوله را در ارتفاع بیشینه با U_2 نشان دهیم، چون انرژی مکانیکی گلوله پایسته است (چرا؟)، داریم

$$E_1=E_2$$

$$K_1+U_1=K_2+U_2$$

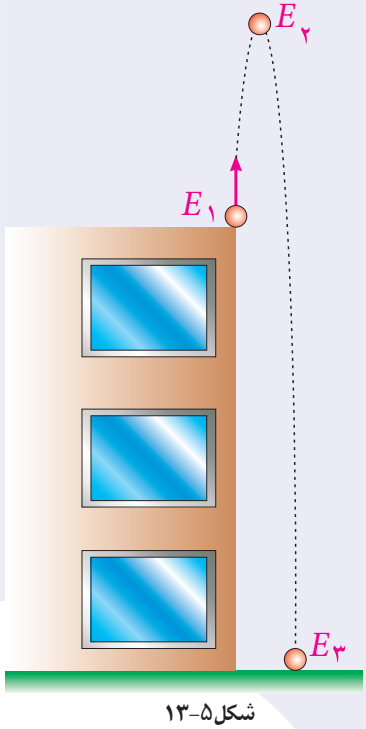
$$\frac{1}{2}mv_1^2+mgh_1=0+mgh_2$$

با حذف جرم m از دو طرف معادله داریم

$$\frac{1}{2}v_1^2+gh_1=0+gh_2$$

$$\frac{1}{2}\times(10m/s)^2+(10N/kg)(4m)=(10N/kg)h_2$$

$$\Rightarrow h_2=9m$$



شکل ۵-۱۳

ب) هنگام برخورد گلوله به سطح زمین، انرژی پتانسیل آن صفر خواهد شد، یعنی $U_۳=۰$. بنابراین

$$E_۱=E_۳$$

$$K_۱+U_۱=K_۳+U_۳$$

$$\frac{۱}{۲}mv_۱^۲+mgh_۱=\frac{۱}{۲}mv_۳^۲+۰$$

با حذف جرم m از دو طرف معادله داریم

$$\frac{۱}{۲}v_۱^۲+gh_۱=\frac{۱}{۲}v_۳^۲$$

$$\frac{۱}{۲}\times(۱۰m/s)^۲+(۱۰N/kg)(۴m)=\frac{۱}{۲}v_۳^۲$$

$$\Rightarrow v_۳=\sqrt{۱۸۰}\ m/s\simeq ۱۳/۵\ m/s$$

بیش‌تر بدانید

- منابع انرژی

شبیه‌سازی و فعالیت عملی

- تغییر انرژی مکانیکی توپ در حال سقوط هنگام برخورد به سطوح مختلف

مثال ۵-۸

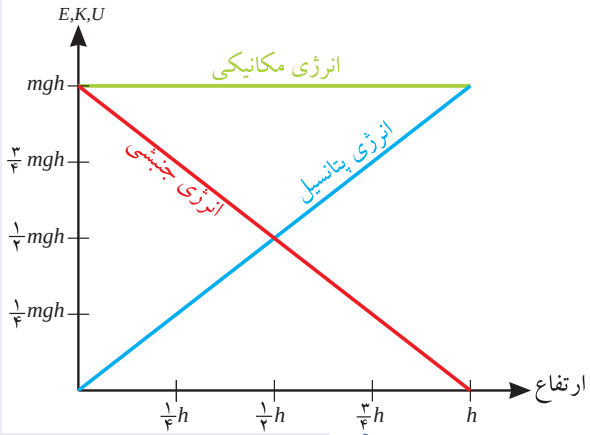
جسمی را از ارتفاع h نسبت به سطح زمین در شرایط خلأ رها می‌کنیم. نمودار تغییرات انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی مکانیکی مربوط به یک جسم در حال سقوط را بر حسب ارتفاع آن رسم کنید.

حل: انرژی پتانسیل جسم در حال سقوط به صورت رابطه‌ی U=mgh بر حسب ارتفاع تغیر می‌کند (خط آبی در نمودار شکل ۵-۱۳).

با توجه به این‌که انرژی مکانیکی جسم در حین سقوط پایسته می‌ماند داریم

$$K+U=E\Rightarrow K=E-mgh$$

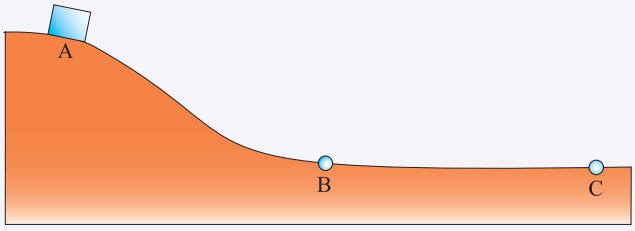
بنابراین نمودار انرژی جنبشی جسم در حال سقوط بر حسب ارتفاع به صورت خط قرمز در نمودار شکل ۵-۱۳ است. توجه کنید انرژی مکانیکی جسم پایسته و مقدار آن همواره برابر mgh است. (رنگ سبز در نمودار شکل ۵-۱۳)



شکل ۵-۱۳

تمرین ۵-۳

جسمی به جرم ۲۰۰ گرم از نقطه‌ی A که ۲ متر بالاتر از نقطه‌های B و C است از حال سکون شروع به حرکت می‌کند (شکل ۵-۱۴). مسیر AB بدون اصطکاک است و در مسیر BC حدود ۲۰ درصد انرژی جسم صرف غلبه بر اصطکاک می‌شود. با استفاده از قانون پایستگی انرژی، سرعت جسم را در هر یک از نقطه‌های B و C پیدا کنید.



شکل ۵-۱۴

۵-۴ توان

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر ماشین، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا کار معینی را انجام دهد. برای مثال هرچه موتور یک اتومبیل قوی‌تر باشد راحت‌تر و سریع‌تر می‌تواند از تپه‌ای بالا رود. بنابراین **توان** یک ماشین را به صورت مقدار کاری که ماشین در یک مدت معین می‌تواند انجام دهد تعریف می‌کنیم. به عبارت دیگر توان (P) برابر نسبت کار انجام شده (W) به زمان انجام کار(t) است. یعنی:

$$\text{توان} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{زمان انجام کار}} \qquad \text{یا} \qquad P = \frac{W}{t}$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه (J/s) است که به دلیل اصلاح و تکمیل ماشین بخار توسط جیمز وات دانشمند اسکاتلندی در قرن هجدهم، وات (W) نامیده می‌شود.

شکل۵-۱۶ جیمز وات (۱۸۱۶ - ۱۷۳۶) دانشمند اسکاتلندی، با وجود این که زندگی‌اش با فقر وتهیدستی قرین بود، توانست ماشین بخاری بسازد که بازده وسرعت عمل خوبی داشت. واحد توان در SI به احترام او وات(W) نامیده می‌شود.

مثال ۵-۹

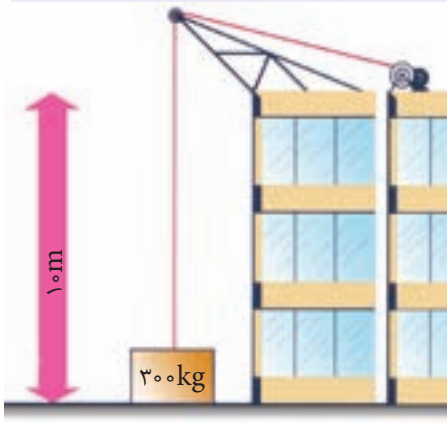
از یک بالابر برقی برای بالا کشیدن باری به جرم ۳۰۰kg تا بالای ساختمانی به ارتفاع ۱۰m استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۵). اگر ۱۵ ثانیه طول بکشد تا این بار با سرعت ثابت به بالای ساختمان منتقل شود، توان بالابر چقدر است؟ (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

حل: کاری که بالابر انجام می‌دهد تا بار را به بالای ساختمان منتقل کند به صورت انرژی پتانسیل در آن ذخیره می‌شود. بنابراین کار انجام شده توسط بالابر برابر است با

$$W = mgh = (۳۰۰kg)(۱۰Nkg)(۱۰m) = ۳\times۱۰^{۴}J$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۳\times۱۰^{۴}J}{۱۵s} = ۲۰۰۰W$$

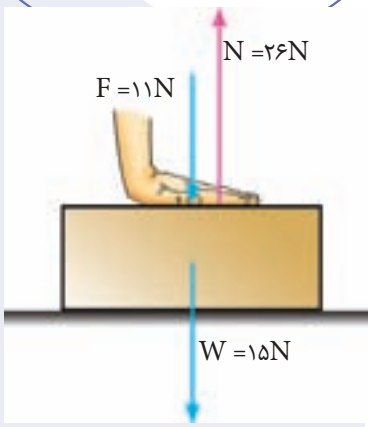


شکل۵-۱۵

تمرین ۵-۴

یک تلمبه‌ی برقی با توان ۱۵۰۰ وات در چه مدت ۲۰۰۰ لیتر آب را از چاهی به عمق ۲۵ متر به سطح زمین منتقل می‌کند؟ توجه کنید جرم هر لیتر آب برابر ۱kg است. (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

پرسش‌های مفهومی



شکل۵-۱۶

۱- جعبه‌ای را مطابق شکل ۵-۱۶ با نیروی قائم F می‌فشاریم. کار انجام شده توسط هریک از نیروهای نشان داده شده چقدر است؟ توضیح دهید

۲- شخصی مطابق شکل ۵-۱۷ جعبه‌ای به جرم m را به آرامی تا ارتفاع h بالا می‌آورد و سپس به آرامی به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌شود. در حین جابه‌جایی شخص، کار انجام شده توسط هریک از نیروهای وارد شده به جسم چقدر است؟ توضیح دهید.

شکل۵-۱۷

۳- در کدام یک از موارد زیر کار انجام می‌شود؟ برای پاسخ خود دلیل کافی بیاورید.

الف) دوچرخه‌سواری در طول یک خیابان رکاب می‌زند.

ب) اتومبیلی ترمز می‌کند و پس از مقداری لغزیدن متوقف می‌شود.

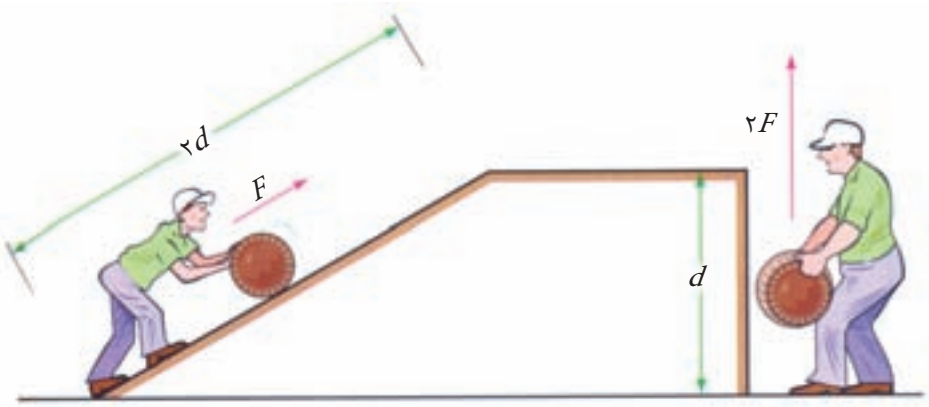
پ) یک موتور الکتریکی باری را از روی زمین بلند می‌کند.

ت) یک آهنربا، تکه‌ای کاغذ را روی درب یخچال نگه داشته است.

۴- در شکل ۵-۱۸ نیروهایی که در امتداد جابه‌جایی یک اتومبیل مسابقه‌ای به آن وارد می‌شوند نشان داده شده اند. با ذکر دلیل نوع علامت کار انجام شده توسط هریک از این نیروها را تعیین کنید.

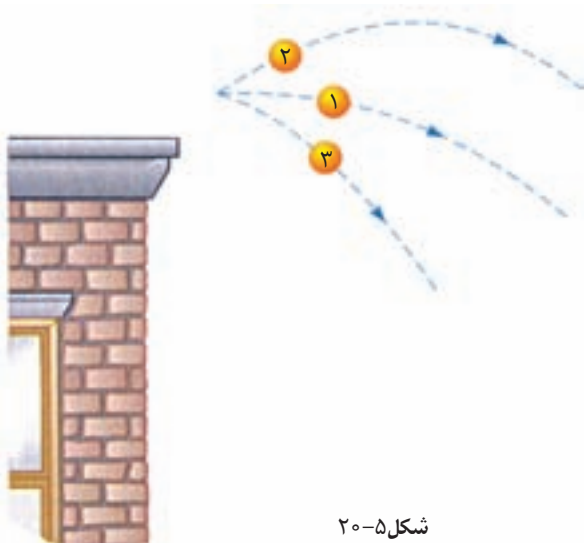
شکل۵-۱۸

۵- به شکل ۵-۱۹ به دقت توجه کنید. برداشت خود را به کمک مفاهیمی که در این فصل یـاد گرفته‌اید بیان کنید. در کدام حالت انرژی بیش‌تری برای انتقال جسـم به محل مورد نظر مصرف می‌شود؟ مزیت هر روش را بیان کنید.



شکل۵-۱۹

۶- سـه گلوله‌ی مشابه از بالای ساختمانی با سرعت یکسان در سه جهت مختلف پرتاب می‌شـوند (شـکل ۵-۲۰). در صورت نادیده گرفتن مقاومت هوا، سرعت گلوله‌ها را هنگام برخورد به زمین با یک‌دیگر مقایسه کنید.
(اشاره: از پایستگی انرژی مکانیکی استفاده کنید.)



شکل۵-۲۰

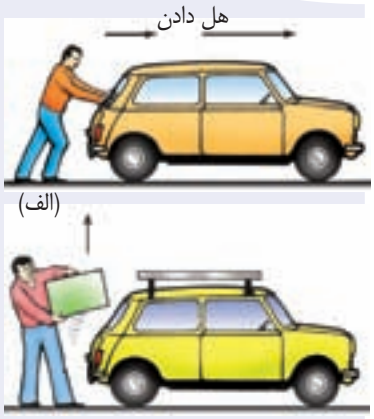
۷- دانش‌آموزی می‌گوید توان من بیش‌تر از توان دوسـتم اسـت. منظـور او از این‌گفته چیست؟

مسئله‌ها

۱- در هریک از موارد زیر کار انجام شده را بر حسب ژول پیدا کنید.

الف) شخصی یک اتومبیل را با نیروی افقی ۷۰۰N به اندازه‌ی ۱۰m هل می‌دهد (شکل ۵-۲۱ الف).

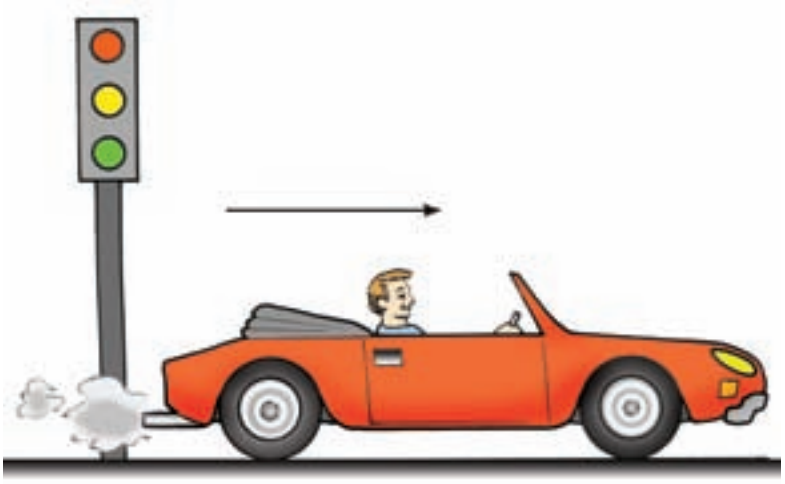
ب) شخصی چمدانی به جرم ۳۰kg را به اندازه‌ی ۱۵۰cm بالا می‌برد تا روی باربند اتومبیلی قرار دهد (شکل ۵-۲۱ ب).



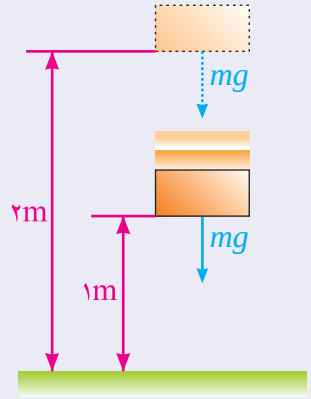
شکل ۵-۲۱

۲- وزنه‌برداری وزنه‌ی ۲۶۵kg را بالای سر خود می‌برد. اگر بیش‌ترین ارتفاع وزنه از سطح زمین به ۱/۹m رسیده باشد، در این عمل چقدر کار انجام شده است؟ اگر او وزنه را ۴s در بالای سر نگه داشته باشد، چند ژول دیگر کار انجام شده است؟ توضیح دهید.

۳- اتومبیلی به جرم ۱۰۰۰kg با شتاب ثابت $2m/s^2$ از حال سکون در امتداد خط راستی به حرکت در می‌آید (شکل ۵-۲۲). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل در دو ثانیه‌ی شروع حرکت چقدر است؟


شکل ۵-۲۲

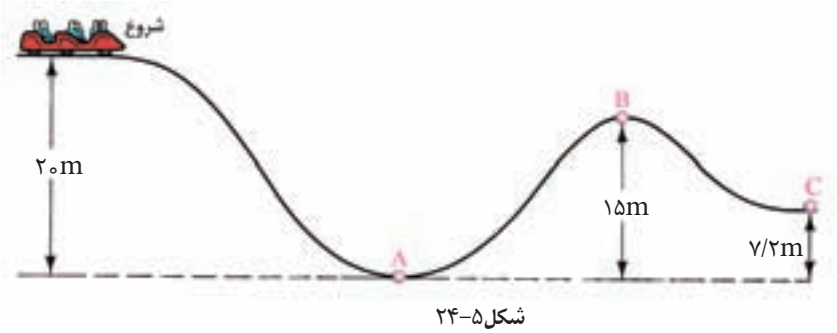
۴- جسمی به جرم ۲kg از ارتفاع ۲ متری سطح زمین رها می‌شود (شکل ۵-۲۳). انرژی‌های جنبشی، پتانسیل و مکانیکی را در میانه‌ی راه پیدا کنید. (شتاب گرانش را ۱۰N/kg و مقاومت هوا را نادیده بگیرید.)



شکل ۵-۲۳

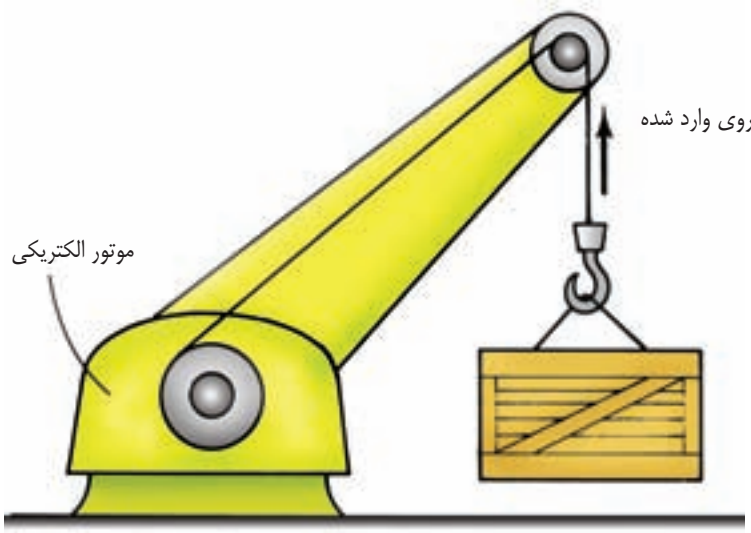
۵- یک واگن تفریحی به جرم کل ۵۰۰kg از ارتفاع ۲۰ متری سطح زمین روی خط آهن ویژه‌ای شروع به حرکت می‌کند (شکل ۵-۲۴). سرعت واگن را در هریک از نقطه‌های A،

B،C، پیدا کنید. (شـتاب گرانش را ۱۰N/kg و اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسـیر نادیده بگیرید.)



شکل۵-۲۴

۶- یـک موتـور الکتریکی می‌تواند جعبه‌ای به جرم ۲ تن را در مدت ۳۰ ثانیه به اندازه‌ی ۵ متر بالا ببرد (شکل ۵-۲۵). توان این موتور الکتریکی چقدر است؟



شکل۵-۲۵