

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



## سیمای فصل

۱-۵ کار

۲-۵ کار و انرژی جنبشی

۳-۵ پایداری انرژی مکانیکی

۴-۵ توان

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



شکل ۵-۱

## کار و انرژی

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

پرواز در آسمان و بر فراز دریاها، بالا بردن وسایل به طبقه‌ی فوقانی یک ساختمان، فرستادن ماهواره به مدار خاصی دور زمین، پرتاب کردن توپ بازی، فرستادن انسان به ایستگاه بین‌المللی فضایی و ... نمونه‌هایی از حرکت هستند 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 سوی یکی از طرف‌های درگیر، به پایان رسیده‌اند. در علوم دوره‌ی راهنمایی و همچنین درس فیزیک (۱) و آزمایشگاه 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 این که با تفصیل بیشتری درباره‌ی انرژی بحث خواهیم کرد با مفهوم کار و ارتباط آن با انرژی آشنا می‌شویم.

## ۵-۱ کار

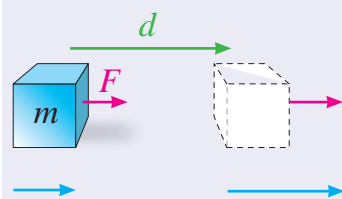
واژه‌ی کار در فیزیک تعریف دقیقی دارد و با آنچه معمولاً در گفتگوهای روزمره از آن استفاده می‌کنیم متفاوت است. اگر مطابق شکل ۵-۲ نیروی ثابتی به بزرگی  $F$  در امتداد افق به جسمی وارد شود و آن را به اندازه‌ی  $d$  جابه‌جا کند، بنا بر تعریف، کار نیروی ثابت  $F$  با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$W = Fd$$

یکای کار نیوتون متر ( $N \cdot m$ ) است که ژول ( $J$ ) نامیده می‌شود. به این ترتیب اگر نیرویی به بزرگی  $1N$  جسمی را به اندازه‌ی  $1m$  در امتداد نیرو جابه‌جا کند، کار انجام شده برابر  $1J$  است

### پرسش ۵-۱

توضیح دهید کار کمیتی نرده‌ای است یا برداری.



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.

### 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  $750N$  باشد، چقدر کار باید توسط این شخص انجام شود تا اتومبیل  $20m$  جابه‌جا شود؟

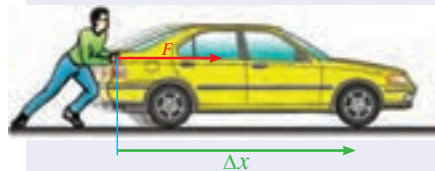
**حل:** بزرگی نیروی وارد شده،  $F = 750N$  و بزرگی جابه‌جایی در جهت نیرو  $d = 20m$  است. با توجه به تعریف کار برای نیروی ثابت داریم

$$W = Fd = (750N)(20m) = 15000N \cdot m = 15000J$$

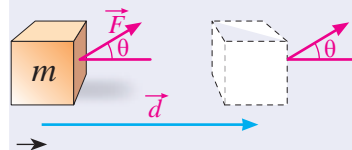
برای سادگی می‌توانید نتیجه‌ی حاصل را بر حسب کیلوژول ( $kJ$ ) به صورت  $15kJ$  نیز بنویسید.

در صورتی که مطابق شکل ۵-۴ نیروی وارد شده به جسم با امتداد جابه‌جایی جسم زاویه‌ی  $\theta$  بسازد، کار نیروی ثابت  $F$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W = Fd \cos\theta$$



شکل ۵-۳



شکل ۵-۴ راستای نیروی ثابت  $F$  با جابه‌جایی  $d$  زاویه‌ی  $\theta$  می‌سازد.

### ..... مثال ۵-۲

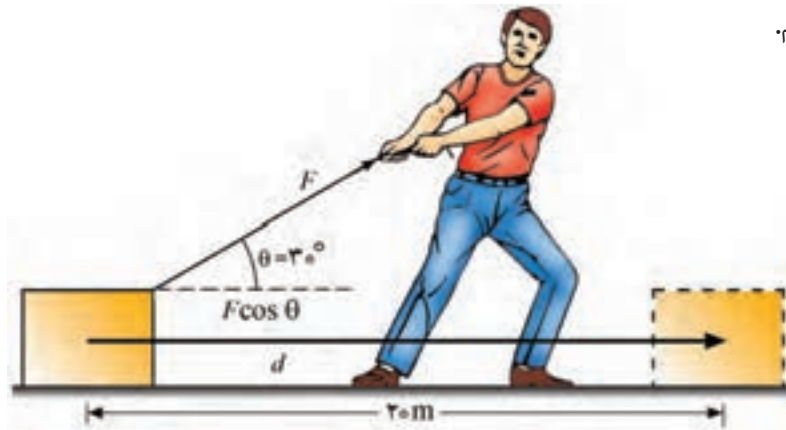
شکل ۵-۵ شخصی را نشان می‌دهد که با نیروی ثابت  $200\text{ N}$  در حال کشیدن جسمی روی یک سطح افقی است. کار انجام شده پس از جابه‌جایی جسم به اندازه  $7\text{ m}$  چقدر است؟

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

$$W = Fd \cos\theta = (200\text{ N})(7\text{ m})(\cos 30^\circ) = 700\sqrt{3}\text{ J}$$

با توجه به این که  $\sqrt{3} \approx 1.7$  است، پاسخ نهایی را می‌توانیم به صورت  $W \approx 1190\text{ J}$

بنویسیم.



شکل ۵-۵



جیمز ژول (۱۸۱۸-۱۸۸۹) 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  $m = 2\text{ kg}$  را مطابق شکل ۵-۶ با نیروی ثابت و رو به بالای  $F$  و با حرکت یکنواخت  $1/2\text{ m}$  بالا می‌بریم. با فرض این که  $g = 10\text{ N/kg}$  است،

الف) کار هریک از نیروهای وارد شده به جسم را به طور جداگانه حساب کنید.  
ب) کار برابند نیروهای وارد بر جسم را به دست آورید.



**حل:** با توجه به این که جسم به طور یکنواخت رو به بالا حرکت می کند، از فصل سوم می دانیم که باید برآیند 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 می شود یکسان باشد. یعنی،  $F=W$ . از آنجا که وزن جسم  $W=mg=(2\text{kg})(10\text{N/kg})=20\text{N}$  است، داریم  $F=20\text{N}$ .  
الف) ابتدا کار نیروی ثابت  $\vec{F}$  را پیدا می کنیم. چون جابه جایی جسم در جهت نیروی  $\vec{F}$  است ( $\theta = 0^\circ$ )، کار انجام شده توسط این نیرو برابر است با:

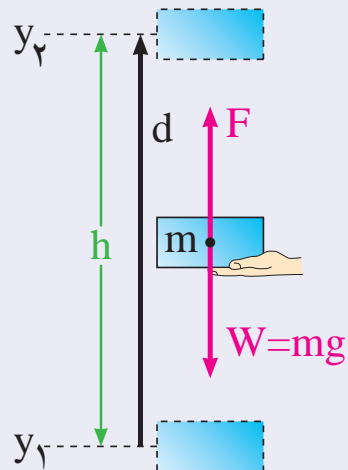
$$W = Fd \cos \theta = (20\text{N})(1/2\text{m})(\cos 0^\circ) = 24\text{J}$$

توجه کنید  $\cos 0^\circ = 1$ .

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

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

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 دو نیرو یکسان است، برآیند آن ها صفر خواهد شد. بنابراین کار برآیند این دو نیرو نیز صفر می شود (چرا؟).



شکل ۵-۶ جسمی را به طور یکنواخت در راستای قائم جابه جا می کنیم.

## ۲-۵ کار و انرژی جنبشی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی متناظر با حالت حرکت جسم، انرژی جنبشی نامیده می شود 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:

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

### مثال ۵-۴

اتومبیلی به جرم  $1200\text{kg}$  که با سرعت  $15\text{m/s}$  در حرکت است با قرمز شدن چراغ به آرامی ترمز می کند و پس از طی مسافتی متوقف می شود (شکل ۵-۷). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل را در این دو وضعیت پیدا کنید.

**حل:** سرعت اتومبیل در وضعیت اول  $v_1 = 15\text{m/s}$  و در وضعیت دوم که به حال سکون در می آید  $v_2 = 0$  است.

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

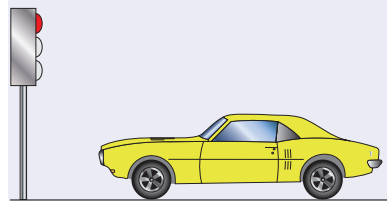
$$K_1 = \frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{1}{2} (1200\text{kg})(15\text{m/s})^2 = 135000\text{J}$$

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

### شبیه سازی



• کار نیروی ثابت



شکل ۵-۷ اتومبیلی با قرمز شدن چراغ متوقف می شود.

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

$$\Delta K = 0 - 135000 \text{ J} = -135000 \text{ J}$$

علامت منفی نشان می‌دهد انرژی جنبشی اتومبیل کاهش یافته است.

## پرسش ۵-۲

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

بین کار و تغییر انرژی جنبشی یک جسم رابطه‌ای وجود دارد که به آن قضیه‌ی کار - انرژی گفته می‌شود. بنابراین قضیه، کار برآیند 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 برآیند نیروهای وارد بر جسم است.

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

## مثال ۵-۵

توپى به جرم  $500$  گرم را از ارتفاع  $2$  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  $10 \text{ N/kg}$  فرض کنید.

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

$$\begin{aligned} W &= Fd \cos\theta = mgh \cos 0^\circ \\ &= (0.5 \text{ kg})(2 \text{ m})(10 \text{ N/kg})(1) = 10 \text{ J} \end{aligned}$$

چون توپ از ارتفاع  $2$  متری رها شده است، انرژی جنبشی اولیه‌ی آن صفر است. بنا بر قضیه‌ی کار - انرژی داریم:

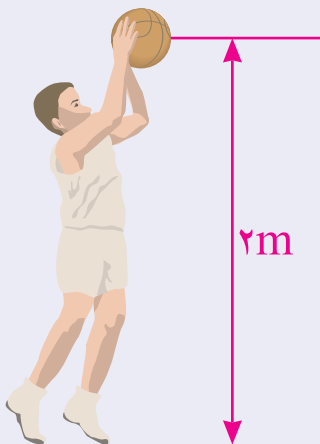
$$W = K_f - K_i$$

$$10 \text{ J} = K_f - 0 \Rightarrow K_f = 10 \text{ J}$$

### بیش‌تر بدانید



- انرژی و فناوری
- مقایسه‌ی انرژی جنبشی و تکانه



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

### مثال ۵-۴

یک اتومبیل مسابقه‌ای به جرم  $600 \text{ kg}$  با سرعت  $288 \text{ km/h}$  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

$$v_1 = 288 \text{ km/h} = 288 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 80 \text{ m/s}$$

در نتیجه انرژی جنبشی آن در این وضعیت برابر است با

$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} (600 \text{ kg}) (80 \text{ m/s})^2 = 1920000 \text{ J}$$

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 برابند نیروهای وارد بر اتومبیل برابر است با

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

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

$$W = K_f - K_1 \quad \text{و} \quad W = W_f + 0 + 0 \Rightarrow W_f = K_f - K_1$$

$$W_f = 0 - 1920000 \text{ J} = -1920 \text{ kJ}$$

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 پناستی با سرعت ۱۸m/s به طرف دروازه شوت 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؟

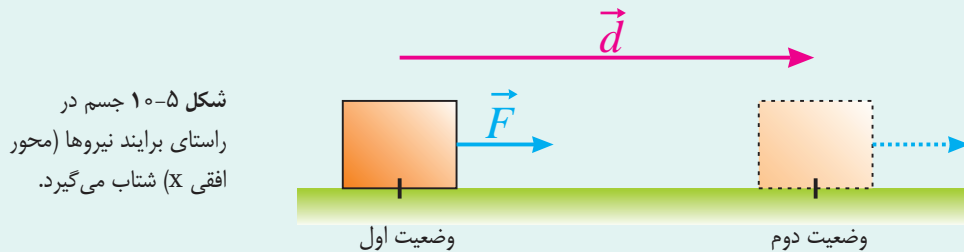
### ..... مطالعه‌ی آزاد

#### اثبات قضیه کار-انرژی

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

$$W = Fd$$

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



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

$$F = ma \quad (1)$$

چون بر اثر اعمال نیروی ثابت  $F$ ، جسم با شتاب ثابت  $a$  حرکت می‌کند، بنابراین پس از جابه‌جایی  $d$ ، سرعت

آن از مقدار  $v_1$  (در وضعیت اول) به مقدار  $v_2$  (در وضعیت دوم) می‌رسد. به این ترتیب با توجه به معادله‌های

حرکت با شتاب ثابت که در فصل دوم آشنا شدیم، داریم

$$v_2^2 - v_1^2 = 2ad$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \quad (2) \quad \text{یا}$$

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

$$F = m \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \right)$$

$$Fd = \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 \Rightarrow W = K_2 - K_1 \quad \text{یا}$$

عبارت بالا همان رابطه‌ی مربوط به قضیه‌ی کار-انرژی است، یعنی  $W = K_2 - K_1$ .

## ۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی ای 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

$$U = mgh$$

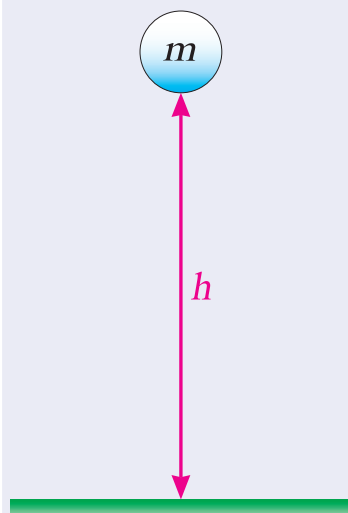
هنگامی که جسم از ارتفاع  $h$  رها می‌شود، انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی آن در حین سقوط تغییر می‌کند. در حین سقوط، انرژی پتانسیل گرانشی جسم کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد ولی مجموع این دو انرژی (در صورت نادیده گرفتن اثر مقاومت هوا) در هر لحظه پایسته (ثابت) می‌ماند.

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  $10 \text{ m/s}$  به طرف بالا پرتاب می‌کنیم (شکل ۵-۱۲) با فرض  $g = 10 \text{ N/kg}$ ، 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. هنگامی که 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

$$E_1 = E_2$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

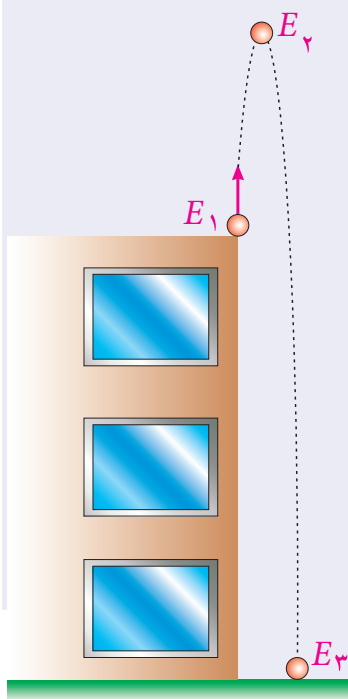
$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = 0 + mgh_2$$

با حذف جرم  $m$  از دو طرف معادله داریم

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

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

$$\Rightarrow h_2 = 9 \text{ m}$$



شکل ۵-۱۲

ب) هنگام برخورد گلوله به سطح زمین، انرژی پتانسیل آن صفر خواهد شد، یعنی  $U_p = 0$ . بنابراین

$$E_1 = E_2$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + 0$$

با حذف جرم  $m$  از دو طرف معادله داریم

$$\frac{1}{2} v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s})^2 + (10 \text{ N/kg}) (4 \text{ m}) = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$\Rightarrow v_2 = \sqrt{180} \text{ m/s} \approx 13.4 \text{ m/s}$$

### بیش تر بدانید

منابع انرژی



### شبیه سازی 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 می کنیم. نمودار تغییرات انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی مکانیکی مربوط به یک جسم در حال سقوط را بر حسب ارتفاع آن رسم کنید.

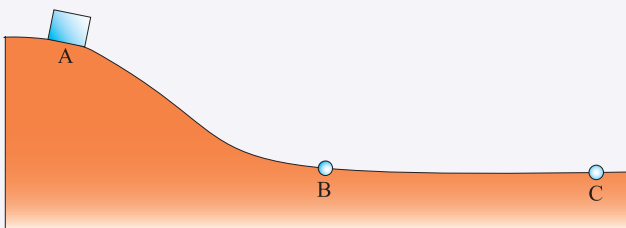
**حل:** انرژی پتانسیل جسم در حال سقوط به صورت رابطه  $U = mgh$  بر حسب ارتفاع تغییر می کند (خط آبی در نمودار شکل ۵-۱۳). با توجه به این که انرژی مکانیکی جسم در حین سقوط پایسته می ماند داریم

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

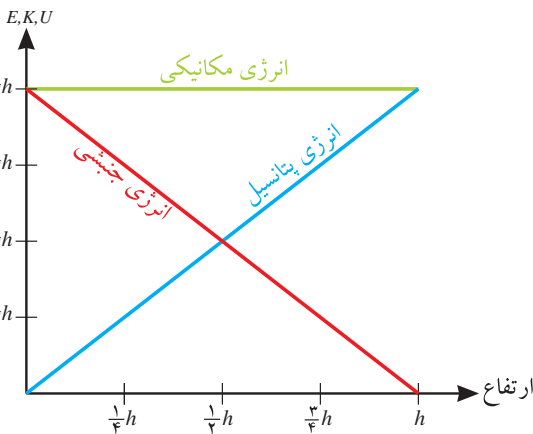
بنابراین نمودار انرژی جنبشی جسم در حال سقوط بر حسب ارتفاع به صورت خط قرمز در نمودار شکل ۵-۱۳ است. توجه کنید انرژی مکانیکی جسم پایسته و مقدار آن همواره برابر  $mgh$  است. (رنگ سبز در نمودار شکل ۵-۱۳)

## تمرین ۵-۳

جسمی به جرم  $200$  گرم از نقطه  $A$  که  $2$  متر بالاتر از نقطه های  $B$  و  $C$  است از حال سکون شروع به حرکت می کند (شکل ۵-۱۴). مسیر  $AB$  بدون اصطکاک است و در مسیر  $BC$  حدود  $20$  درصد انرژی جسم صرف غلبه بر اصطکاک می شود. با استفاده از قانون پایستگی انرژی، سرعت جسم را در هر یک از نقطه های  $B$  و  $C$  پیدا کنید.



شکل ۵-۱۴



شکل ۵-۱۳

## ۴-۵ 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:

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

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.



شکل ۵-۱۶ جیمز وات (۱۸۱۶ - ۱۷۳۶) دانشمند اسکاتلندی، با وجود این که زندگی‌اش با فقر و تهیدستی قرین بود، توانست ماشین بخاری بسازد که بازده و سرعت 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  $300 \text{ kg}$  تا بالای ساختمانی به ارتفاع  $10 \text{ m}$  استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۵). اگر  $15$  ثانیه طول بکشد تا این بار با سرعت ثابت به بالای ساختمان منتقل شود، توان بالابر چقدر است؟ (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  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

$$W = mgh = (300 \text{ kg})(10 \text{ N/kg})(10 \text{ m}) = 3 \times 10^4 \text{ J}$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3 \times 10^4 \text{ J}}{15 \text{ s}} = 2000 \text{ W}$$

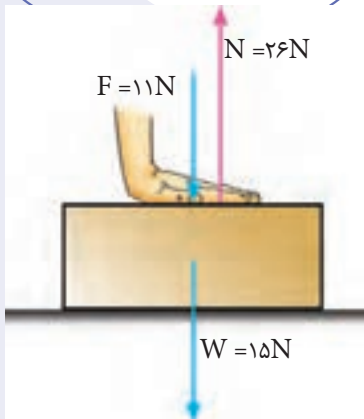


شکل ۵-۱۵

### تمرین ۵-۱۴

یک تلمبه‌ی برقی با توان  $1500$  وات در چه مدت  $2000$  لیتر آب را از چاهی به عمق  $25$  متر به سطح زمین منتقل می‌کند؟ توجه کنید جرم هر لیتر آب برابر  $1 \text{ kg}$  است. (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  و هرگونه اتلاف انرژی را نادیده بگیرید.)

## پرسش‌های مفهومی



شکل ۵-۱۶

۱- جعبه‌ای را مطابق شکل ۵-۱۶ با نیروی قائم  $F$  می‌فشاریم. کار انجام شده توسط هر یک 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 هر یک از نیروهای وارد شده به جسم چقدر است؟ توضیح دهید.

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 شده‌اند. با ذکر دلیل نوع علامت کار انجام شده توسط هر یک از این نیروها را تعیین کنید.

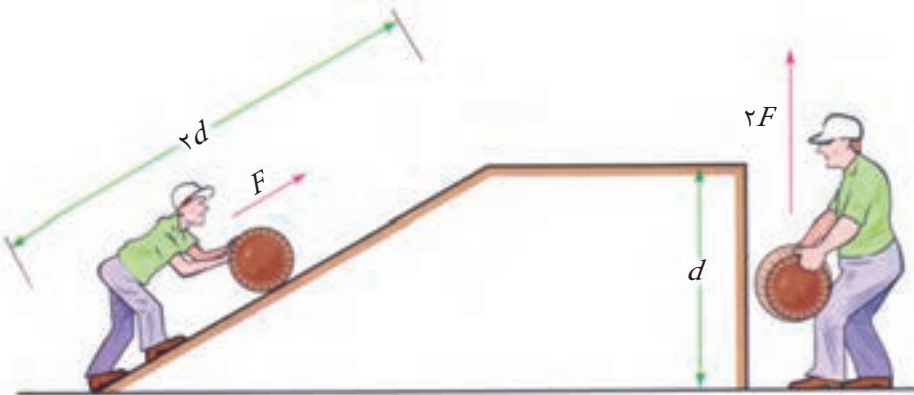


شکل ۵-۱۷



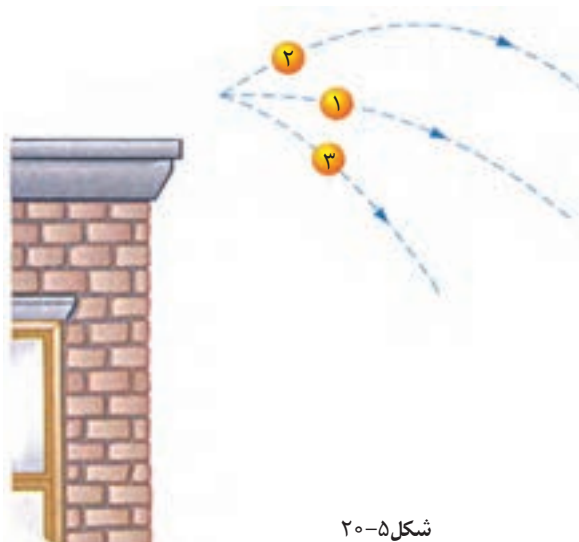
شکل ۵-۱۸

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



شکل ۱۹-۵

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



شکل ۲۰-۵

۷- دانش‌آموزی می‌گوید توان من بیشتر از توان دوستم است. منظور او از این گفته 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  $700\text{ N}$  به اندازه‌ی  $10\text{ m}$  هل می‌دهد (شکل ۲۱-۵ الف).

ب) شخصی چمدانی به جرم  $30\text{ kg}$  را به اندازه‌ی  $150\text{ cm}$  بالا می‌برد تا روی باربند اتومبیلی قرار دهد (شکل ۲۱-۵ ب).



(الف)

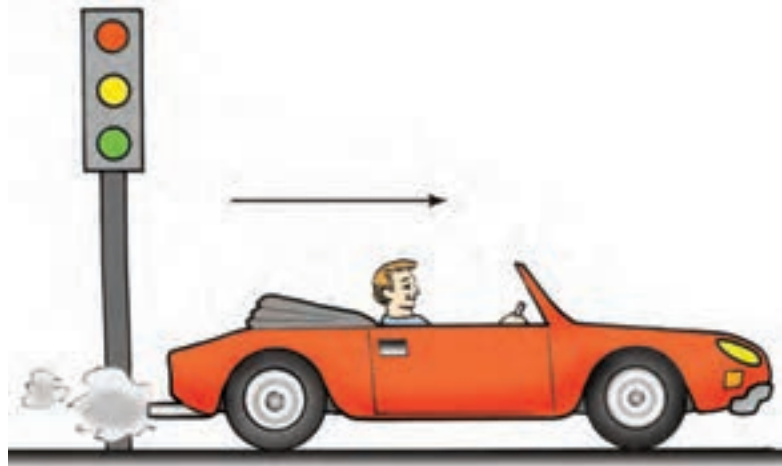


(ب)

شکل ۲۱-۵

۲- وزنه‌برداری وزنه‌ی  $265\text{ kg}$  را بالای سر خود می‌برد. اگر بیش‌ترین ارتفاع وزنه از سطح زمین به  $1/9\text{ m}$  رسیده باشد، در این عمل چقدر کار انجام شده است؟ اگر او وزنه را  $4\text{ s}$  در بالای سر نگه داشته باشد، چند ژول دیگر کار انجام شده است؟ توضیح دهید.

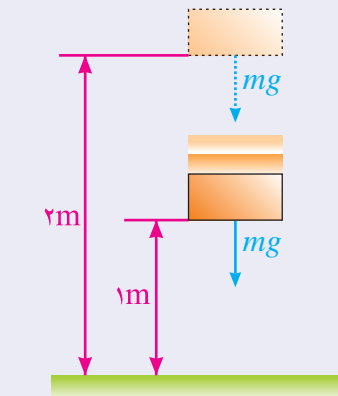
۳- اتومبیلی به جرم  $1000\text{ kg}$  با شتاب ثابت  $2\text{ m/s}^2$  از حال سکون در امتداد خط راستی به حرکت در می‌آید (شکل ۲۲-۵). تغییر انرژی جنبشی اتومبیل در دو ثانیه‌ی شروع حرکت چقدر است؟



شکل ۲۲-۵

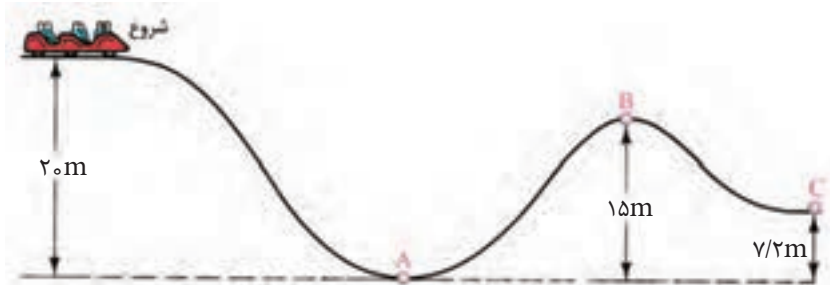
۴- جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  از ارتفاع  $2$  متری سطح زمین رها می‌شود (شکل ۲۳-۵). انرژی‌های جنبشی، پتانسیل و مکانیکی را در میانه‌ی راه پیدا کنید. (شتاب گرانش را  $10\text{ N/kg}$  و مقاومت هوا را نادیده بگیرید).

۵- یک واگن تفریحی به جرم کل  $500\text{ kg}$  از ارتفاع  $20$  متری سطح زمین روی خط آهن ویژه‌ای شروع به حرکت می‌کند (شکل ۲۴-۵). سرعت واگن را در هریک از نقطه‌های A،



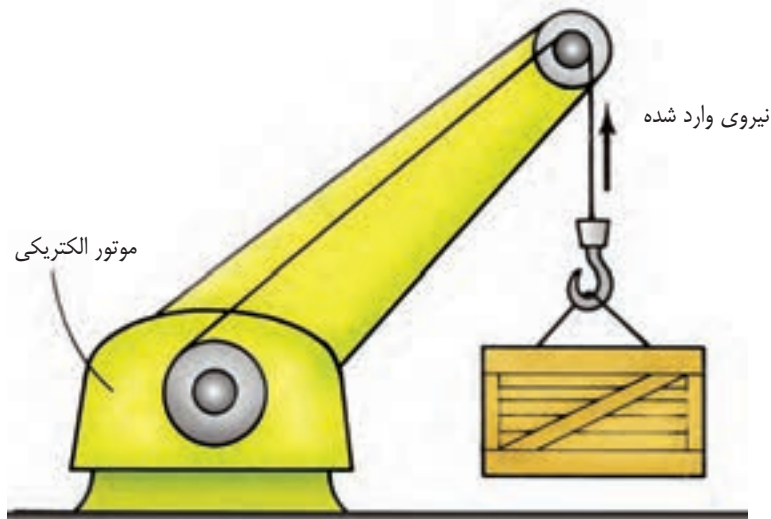
شکل ۲۳-۵

B, C پیدا کنید. (شتاب گرانش را  $10 \text{ N/kg}$  و اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر نادیده بگیرید.)



شکل ۵-۲۴

۶- یک موتور الکتریکی می‌تواند جعبه‌ای به جرم  $2 \text{ تن}$  را در مدت  $30$  ثانیه به اندازه  $5$  متر بالا ببرد (شکل ۵-۲۵). توان این موتور الکتریکی چقدر است؟



شکل ۵-۲۵