



انرژی جنبشی (K):

انرژی که اجسام صرفاً به علت حرکتشان دارند، انرژی جنبشی نامیده می شود.

انرژی جنبشی هر جسم با ... و ... آن نسبت مستقیم دارد و با رابطه زیر بیان می شود:

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

Handwritten annotations: Kg (pointing to K), $\frac{m}{s}$ (pointing to v), and kg (pointing to m).

در این رابطه m (جرم) بر حسب کیلوگرم (kg) و v (تندی) بر حسب متر بر ثانیه ($\frac{m}{s}$) و K (انرژی جنبشی) بر حسب ژول در نظر گرفته می شود.

به دلیل اینکه هر جسم متحرک دارای انرژی جنبشی است در صورت برخورد به جسم دیگر می تواند کار انجام بدهد مانند برخورد چکش به میخ و ...

مثال: توبی به جرم 0.5 kg با سرعت $8 \frac{m}{s}$ در حال حرکت است انرژی جنبشی توبی را محاسبه کنید.

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 8^2 = \frac{1}{2} \times 64 = 32$$

مثال: چکشی در اثر برخورد با یک میخ ۲۰۰ انرژی جنبشی به میخ منتقل می کند. اگر جرم چکش 1 kg باشد، سرعت برخورد چکش با میخ چقدر است؟

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow 200 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$$

$$v^2 = 200 \times 2 = 400 \Rightarrow v = \sqrt{400} = 20 \frac{m}{s}$$



سرعت متوسط: به مقدار جابه جایی جمع بر حسب زمان، سرعت متوسط گویند و از فرمول زیر بدست می آید.

$$\text{سرعت} = \frac{\text{جابه جایی}}{\text{زمان}} \Rightarrow V = \frac{x}{t}$$

نکته: واحد سرعت معمولاً یا متر بر ثانیه است یا کیلومتر بر ساعت برای اینکه واحد سرعت $\frac{m}{s}$ باشد، در فرمول بالا واحد جابه جایی را متر و واحد زمان را ثانیه قرار می دهیم و برای اینکه واحد سرعت $\frac{km}{h}$ باشد، باید جابه جایی را بر حسب کیلومتر و زمان را بر حسب ساعت (h) در فرمول قرار داد.

$$\frac{km}{h} \xrightarrow{\div 3.6} \frac{m}{s} \xleftarrow{\times 3.6} \frac{km}{h}$$

$$\begin{aligned} 18 \frac{km}{h} &\rightarrow 5 \frac{m}{s} \\ 72 \frac{km}{h} &\rightarrow 20 \frac{m}{s} \\ 108 \frac{km}{h} &\rightarrow 30 \frac{m}{s} \\ 144 \frac{km}{h} &\rightarrow 40 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

مثال: اتومبیلی به جرم ۲ تن مسافت ۱۴۴ کیلومتر را با تندی ثابت در مدت ۲ ساعت می پیماید.

$$1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$$

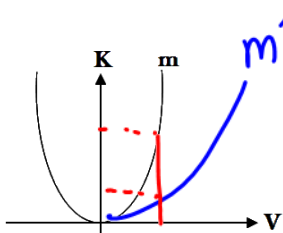
$$v = \frac{144}{2} = 72 \frac{km}{h} = 72 \div 3.6 = 20 \frac{m}{s}$$

الف) تندی اتومبیل چقدر است؟

ب) انرژی جنبشی اتومبیل چقدر است؟

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 2000 \times 20^2 = 1000 \times 400 = 400000 \text{ J}$$

نکته: نمودار انرژی جنبشی بر حسب سرعت یک سهمی است که با افزایش جرم سهمی به محور قائم نزدیک می شود.



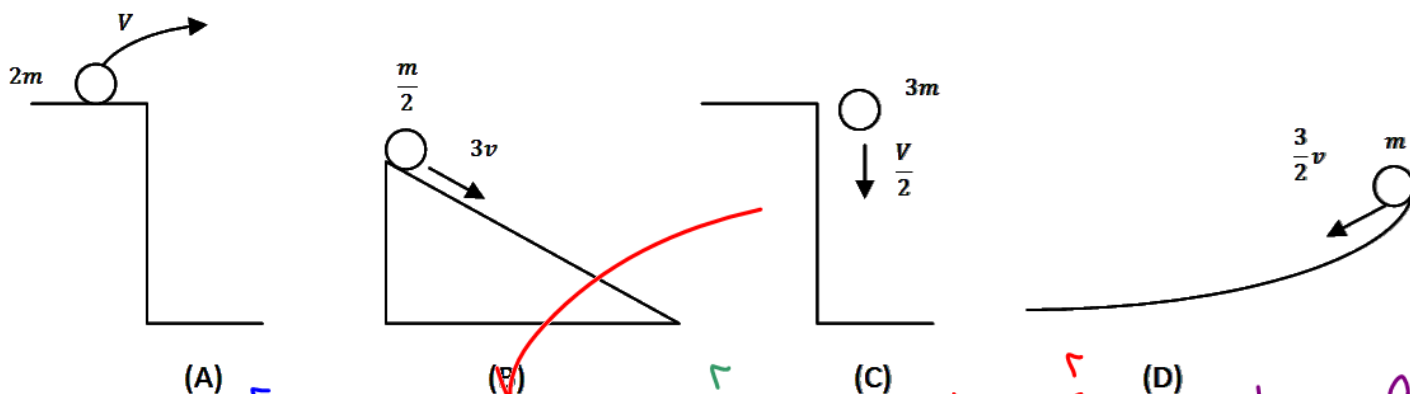
$$m > m'$$

$$y = ax^2 + bx + c$$



نکته: برای یافتن انرژی جنبشی جسم فقط جرم و سرعت آن (از نظر اندازه) مهم است و جهت سرعت تأثیری در اندازه انرژی جنبشی ندارد.

مثال: در کدامیک از اشکال زیر انرژی جنبشی جسم در لحظه‌ی نشان داده شده در شکل بیشتر است.



$$K_A = \frac{1}{2} \times 2m \times v^2$$

$$K_A = mv^2$$

$$K_B = \frac{1}{2} \times \frac{m}{2} \times (3v)^2$$

$$K_B = \frac{9}{2} mv^2$$

$$K_C = \frac{1}{2} \times 3m \times \left(\frac{v}{2}\right)^2$$

$$K_C = \frac{3}{4} mv^2$$

$$K_D = \frac{1}{2} m \times \left(\frac{3v}{2}\right)^2$$

$$K_D = \frac{9}{4} mv^2$$

مثال: جرم جسمی را ۳ برابر و سرعت آن را نصف می‌کنیم انرژی جنبشی آن چند برابر می‌شود.

$$\left. \begin{array}{l} m_2 = 3m_1 \\ v_2 = \frac{1}{2}v_1 \end{array} \right\} \frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{1}{2} \times m_2 \times v_2^2}{\frac{1}{2} \times m_1 \times v_1^2} = \frac{3m_1}{m_1} \times \left(\frac{\frac{1}{2}v_1}{v_1}\right)^2 = 3 \times \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

مثال: اگر جرم جسم ۲۵٪ کاهش می‌یابد انرژی جنبشی جسم چند درصد و چگونه تغییر می‌کند.

$$\left. \begin{array}{l} m_2 = \frac{75}{100} m_1 \\ v_2 = v_1 \end{array} \right\} \frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{75}{100} m_1 \times v_1^2}{\frac{1}{2} m_1 \times v_1^2} = \frac{75}{100} \times \frac{1}{\frac{1}{2}} = \frac{75}{50} = \frac{3}{2}$$

$\frac{K_2}{K_1} = \frac{3}{2} \rightarrow$ ۵۰٪ کاهش



مثال: سرعت یک جسم را چند درصد بیشتر کنیم تا انرژی جنبشی آن ۴۴٪ بیشتر شود؟

$$K_2 = 1.44 K_1, \quad \frac{K_2}{K_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \Rightarrow 1.44 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 1.2$$

۲٪ افزایش

مثال: اگر تغییرات انرژی جنبشی ۸ برابر انرژی جنبشی اولیه اش باشد، سرعت جسم چند برابر شده است؟

$$K_2 - K_1 = \Delta K = 8K_1$$

$$K_2 - K_1 = 8K_1 \Rightarrow K_2 = 9K_1$$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \Rightarrow 9 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 3 \Rightarrow v_2 = 3v_1$$

مثال: انرژی مورد نیاز برای آنکه تندی اتومبیلی را از $10 \frac{m}{s}$ به $20 \frac{m}{s}$ برساند، چند برابر انرژی است که اتومبیلی را از حالت سکون به سرعت $10 \frac{m}{s}$ می رساند؟

$$K_1 = \frac{1}{2} m \times 10^2, \quad K_2 = \frac{1}{2} m \times 20^2$$

$$\Delta K = \frac{1}{2} m \times 20^2 - \frac{1}{2} m \times 10^2 = \frac{1}{2} m \times 300$$

$$\frac{\Delta K}{\Delta K'} = \frac{\frac{1}{2} m \times 300}{\frac{1}{2} m \times 100} = 3$$

مثال: جرمی به جرم ۰/۵ کیلوگرم تحت نیروی ثابت ۲ نیوتن از حال سکون در می آید. پس از چند ثانیه انرژی جنبشی جرم به ۲۵ ژول می رسد؟

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow 25 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times v^2 \Rightarrow v^2 = 100 \Rightarrow v = 10 \frac{m}{s}$$

$$F = ma \Rightarrow 2 = 0.5 a \Rightarrow a = 4 \frac{m}{s^2}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 4 = \frac{10 - 0}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 2.5 s$$



کلاس: در فرهنگ لغت، کار را چنین تعریف می کنند:

چیزی که زحمت و تلاش صرف آن می شود.

ولی در فیزیک کار را به نحوی بسیار دقیق تر و ظریف تر تعریف می کنند:

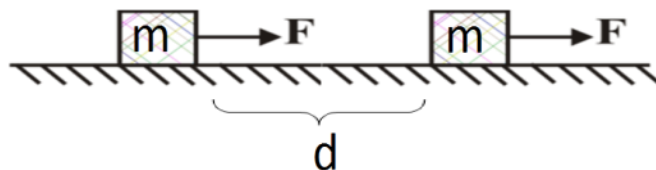
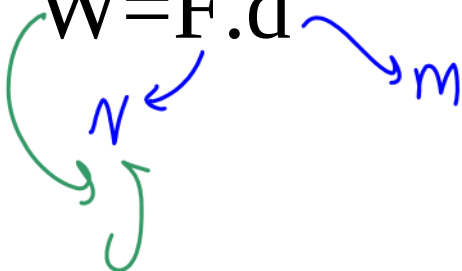
(کار عبارت است از حاصلضرب نیرو در جابه جایی)

یکای کار در SI ژول است.

کار کمیته نرده ای است و اگر کاری در چند مرحله انجام شده باشد کار کل برابر است با جمع جبری تک تک کارها.

طبق این تعریف یک ژول نیز برابر است با کاری که نیروی یک نیوتن در جابه جایی یک متر در راستای نیرو انجام می دهد. اگر به جمی نیروی F وارد شود، کار نیروی F از رابطه زیر بدست می آید:

$$W = F \cdot d$$

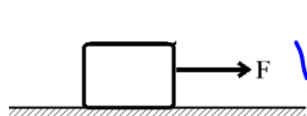


توجه: برای محاسبه کار از مدل سازی استفاده می کنیم و جم را به صورت ذره در نظر می گیریم.

تذکره: برای محاسبه کار، نیروی ثابت باید در جهت جابجایی باشد.



مثال: مطابق شکل جرم به جرم 0.15 kg را با نیروی ثابت $F = 6 \text{ N}$ روی سطح افقی بدون اصطکاک می کشیم.



$$W = Fd = 6 \times 1.5 = 9 \text{ J}$$

(الف) پس از 1.5 متر جابجایی کار انجام شده توسط ما چقدر خواهد بود؟

(ب) شتاب حرکت جرم چقدر است؟

(پ) پس از 20 ثانیه انرژی جنبشی جرم چقدر خواهد شد و جرم این انرژی را از کجا بدست آورده است؟

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 12 = \frac{v - 0}{2} \Rightarrow v = 12 \times 2 = 24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

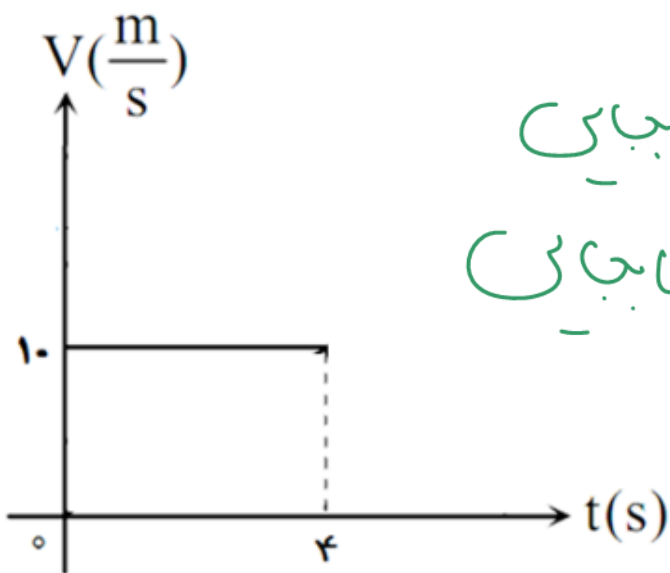
$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times (24)^2 = \frac{1}{2} \times 144 \times 12 = 144 \text{ J}$$

مثال: نمودار سرعت زمان جرم که با نیروی ثابت $F = 15 \text{ N}$ در مسیر مستقیم کشیده می شود، مطابق شکل زیر است. کار انجام شده روی جرم تا پایان ثانیه 4 چقدر است؟

زمان $\times$ سرعت = جابجایی

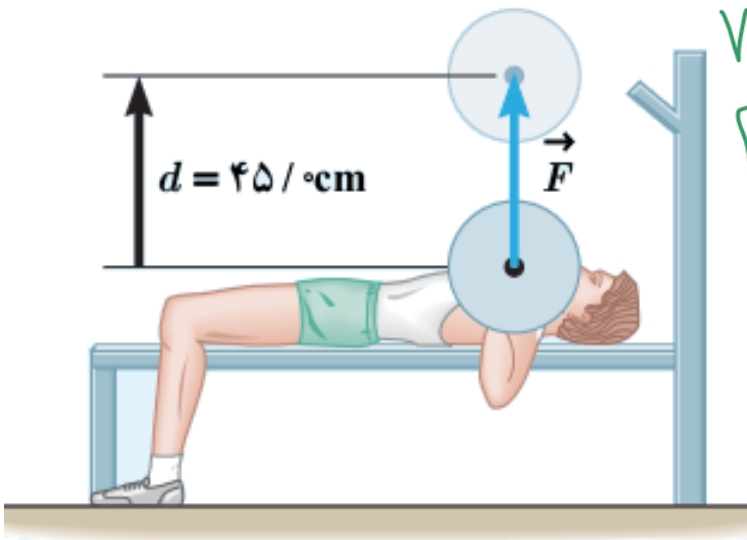
$$\text{جابجایی} = 10 \times 4 = 40 \text{ m}$$

$$W = Fd = 15 \times 40 = 600 \text{ J}$$





مثال: وزنه برداری مطابق شکل وزنه ۴۰ کیلوگرمی را به طور یکنواخت ۴۵ سانتی متر بالا می برد. کار انجام شده توسط شخص چقدر است؟



$$W = mg = 40 \times 10 = 400 \text{ N}$$

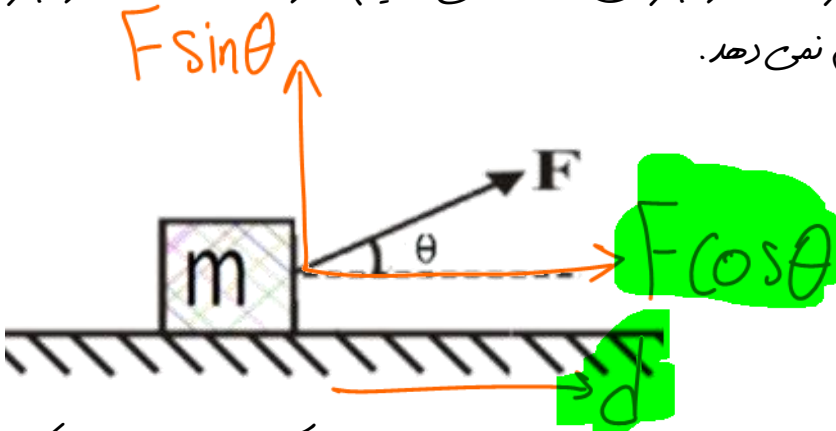
$$F = 400 \text{ N} \quad W = Fd$$

$$d = 45 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$W = 400 \times 45 \times 10^{-2}$$

$$W = 180 \text{ J}$$

توجه: اگر نیروی وارد به جسم با جابجایی زاویه θ باشد، در این حالت نیروی F دارای دو مؤلفه ای عمود بر هم است که یکی موازی با جابجایی و دیگری عمود بر آن است. می دانیم مؤلفه ای که عمود بر جابجایی است $(F \sin \theta)$ کاری روی جسم انجام نمی دهد.



نکته: اگر بین نیروی وارد و راستای حرکت زاویه θ باشد، یعنی نیرو و جابه جایی در یک جهت نباشند کار نیروی F از رابطه زیر بدست می آید:

زاویه بین نیرو و جابجایی

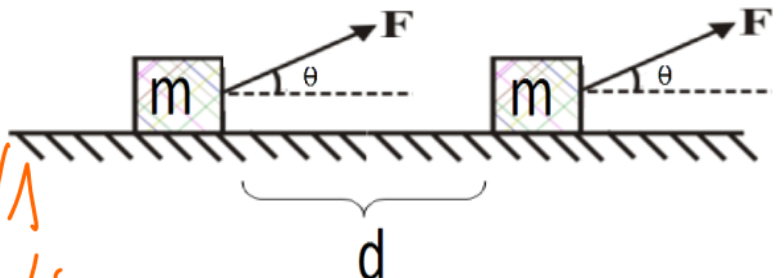
$$W = F \cdot d \cos \theta$$

$$\sin 45^\circ = 1/2$$

$$\cos 45^\circ = 1/2$$

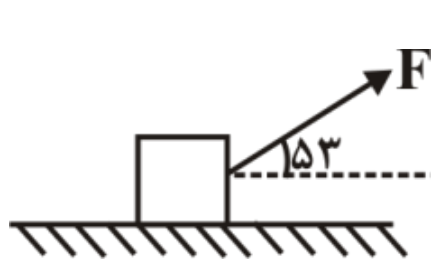
$$\sin 60^\circ = 1/2$$

$$\cos 60^\circ = 1/2$$





مثال: در شکل روبه‌رو نیروی $F = 4\text{ N}$ وزنه m را روی سطح افقی در هر ثانیه ۲ متر جابه‌جا می‌کند. کار این نیرو در مدت ۱۰ ثانیه برابر چند ژول است؟



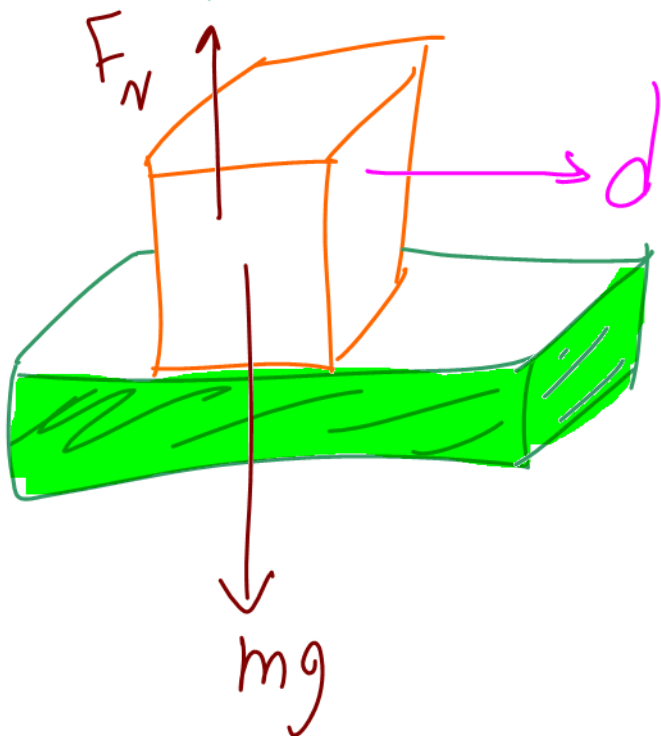
$$d = 2 \times 10 = 20\text{ m}$$

$$W = Fd \cos \theta = 4 \times 20 \times \frac{4}{5} = 64\text{ J}$$

توجه: ممکن است در بعضی موارد نیرو وارد شود مانند شخصی که یک کتاب را در دست خود نگه داشته است ولی چون جابه‌جایی صورت نگرفته است از نظر فیزیکی کاری انجام نشده است.
تذکره: بهتر است در حل سؤالات راستای حرکت را افقی در نظر گرفت و راستایی که نیرو با سطح افقی می‌سازد به عنوان زاویه θ در نظر گرفته شود.

مثال: اگر روی دسته‌ی یک ماشین چمن زنی نیروی ۱۰۰ نیوتن در امتدادی که با افق زاویه ۶۰ درجه می‌سازد وارد شود و آن را در سطح افقی ۳ متر تغییر مکان دهد. چند ژول کار انجام می‌شود؟

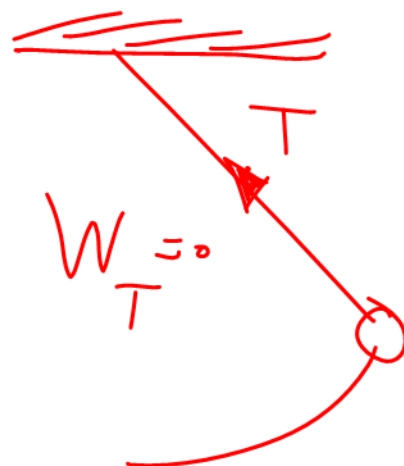
$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2} \quad \text{و} \quad W = Fd \cos \theta = 100 \times 3 \times \frac{1}{2} = 150\text{ J}$$



نکته: نیروهای عمود بر جابه‌جایی، کار انجام نمی‌دهند.

$$W_{F_N} = 0$$

$$W_{mg} = 0$$

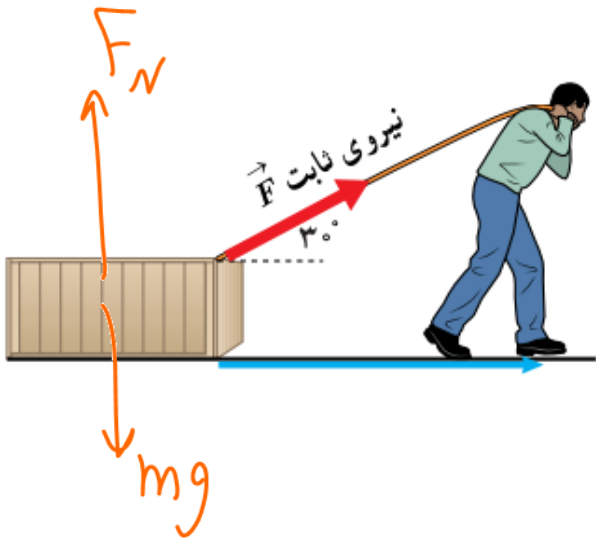




مثال: در شکل زیر شخص جعبه را با نیروی ۲۰ نیوتن روی سطح افقی می کشد.

الف) نیروهایی که بر جسم وارد می شوند را مشخص کنید.

ب) کار هر کدام از این نیروها را پس از ۴ متر جابجایی بدست آورید.



$$W_{mg} = 0 \text{ و } W_{F_N} = 0$$

$$W_F = Fd \cos \theta = 20 \times 4 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

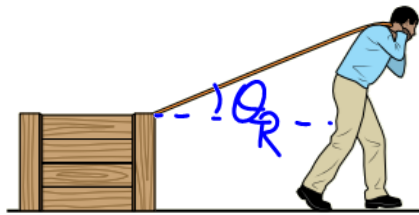
$$W_F = 40\sqrt{3} \text{ J}$$

پرسش: مطابق شکل شخصی جعبه را یک بار با طناب بلند و بار دیگر با طناب کوتاه تر روی سطح بدون اصطکاک، به یک اندازه جابه جا می کند. اگر کار انجام شده توسط شخص در هر دو حالت با هم برابر باشد، در

کدام حالت شخص نیروی بیشتری را وارد کرده است؟



L



R

$$W_L = W_R$$

$$F_L d \cos \theta_L = F_R d \cos \theta_R$$

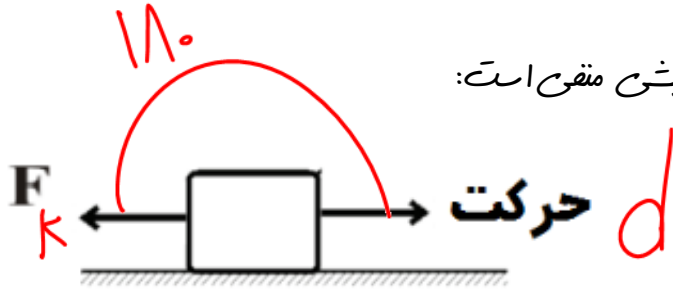
$$\theta_L > \theta_R \Rightarrow \cos \theta_L < \cos \theta_R$$

$$F_L \cos \theta_L = F_R \cos \theta_R$$

$$F_R < F_L$$



* نکته: کار نیروهای مخالف جابه جایی مثل نیروی اصطکاک جنبشی منفی است:



مسافت

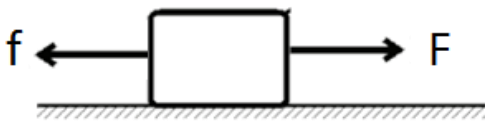
$$W = F_k d \cos 180^\circ$$

$$W_{f_k} = -f_k d$$

* نکته: قدر مطلق کار اصطکاک برابر گرمای تولید شده است.

$$Q_f = |W_{f_k}|$$

✓ مثال: جرمی به جرم ۵۰۰ گرم روی یک سطح افقی بوسیله نیروی افقی F به اندازه ۱۰ متر تغییر مکان می یابد اگر نیروی اصطکاک ۸ نیوتن باشد، کار نیروی اصطکاک چند ژول است؟ گرمای ایجاد شده چند ژول است؟



$$W_{f_k} = -f_k d = -8 \times 10 = -80 \text{ J}$$

$$Q_f = |W_{f_k}| = |-80| = 80 \text{ J}$$

* نکته: هنگامیکه چند نیرو به جرمی اثر کنند کار نیروی برآیند در یک جابه جایی معین، جمع جبری کار تک تک نیروها در همان جابه جایی است.

$$W_f = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$$



مثال: نیروی افقی ۲۰ نیوتن جسم را روی سطح افقی به اندازه ۴ متر جابه‌جا می‌کند. اگر نیروی اصطکاک وارد بر جسم ۸ نیوتن باشد، مطلوب است:

$$W_F = Fd \cos \theta = Fd \cos 0$$

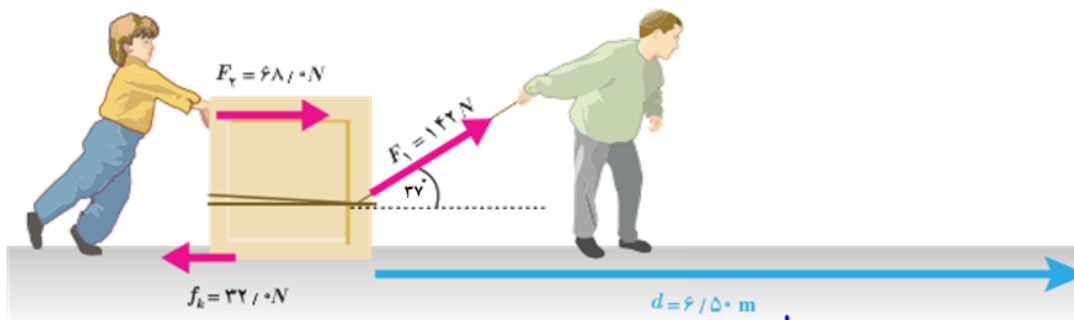
$$W_F = 20 \times 4 \times 1 = 80 \text{ J}$$

$$W_{f_k} = -f_k d = -8 \times 4 = -32 \text{ J}$$

$$W_t = W_F + W_{f_k} = 80 - 32 = 48 \text{ J}$$

الف) کار نیروی F
ب) کار نیروی اصطکاک
ج) کار کل

مثال: شکل زیر پدرو پیری را در حال جابه‌جا کردن یک جعبه‌ی سنگین روی سطحی هموار نشان می‌دهد. نیروی F_1 را پدرو و نیروی F_2 را پیری به جسم وارد می‌کنند و f_k اصطکاک جنبشی است که با حرکت جسم مخالفت می‌کند و در خلاف جهت جابه‌جایی به جسم وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی جسم را محاسبه کنید.



$$W_{F_1} = F_1 d \cos 37 = 142 \times 6 \times 0.8 = 681.12 \text{ J}$$

$$W_{F_2} = F_2 d \cos 0 = 681 \times 6 \times 1 = 4086 \text{ J}$$

$$W_{f_k} = -f_k d = -32 \times 6 = -192 \text{ J}$$

$$W_t = 972.12 \text{ J}$$



کار نیروی وزن:

کار نیروی وزن فقط و فقط به جابه جایی قائم جم بین آن دو نقطه بستگی دارد و مسیر حرکت در انجام محاسبات نقش ندارد.

$$W = +mgh$$

$$W = -mgh$$

۱- اگر ارتفاع نقطه اثر نیروی وزن به اندازه h کاهش یابد (جم پایین بیاید):

۲- اگر ارتفاع نقطه اثر نیروی وزن به اندازه h افزایش یابد (جم بالا برود):

۳- اگر ارتفاع اثر نیروی جم تغییر نکند (یا حرکت جم روی سطح افقی باشد):

$$W = \text{صفر}$$



$$W = -mgh = -2 \times 10 \times 5 = -100 \text{ J}$$

$$W = +mgh = +100 \text{ J}$$

مثال: جمی به جرم ۲ کیلوگرم را در راستای قائم به اندازه ۵ متر بالا می بریم:

الف) کار نیروی وزن را بدست آورید.

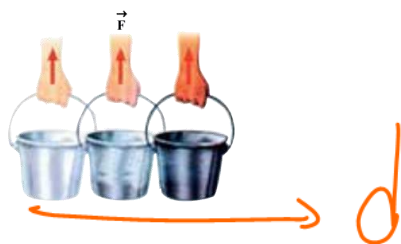
ب) اگر جم از این ارتفاع رها شود و به زمین بیفتد کار نیروی وزن چقدر می شود.

ج) کار نیروی وزن در کل مسیر چقدر است.

$$W_t = \text{صفر}$$

مثال: شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم m را مطابق شکل زیر حمل و به

اندازه d جابجا می کند. کار نیروی دست در این جابجایی چقدر است؟



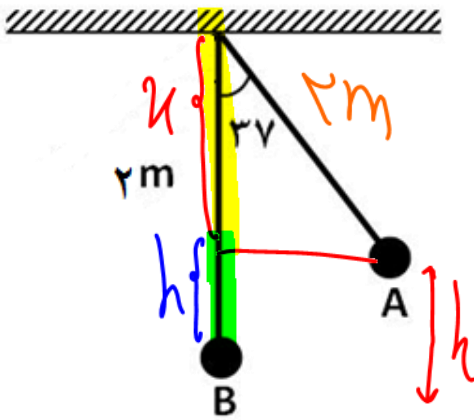
$$W = 0$$

نیروی جابجایی

صفر است.



مثال: کودکی در حال تاب خوردن است. اگر وزن او ۳۰۰ نیوتن باشد کار نیروی وزن او در طی جابه جایی از A تا B چند ژول است.

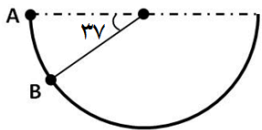


$$x = 2 \times (\cos 37^\circ) = 2 \times 0.8 = 1.6 \text{ m}$$

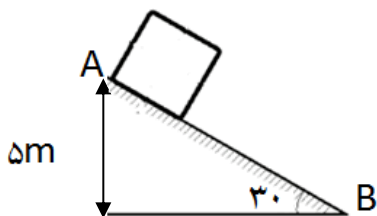
$$2 = x + h \Rightarrow 2 = 1.6 + h \Rightarrow h = 0.4 \text{ m}$$

$$W = mgh = 300 \times 0.4 = 120 \text{ J}$$

مثال: جسم m به جرم ۱۰۰ گرم درون نیمکره صیقلی به قطر ۶۰ سانتیمتر به پایین می لغزد. کار نیروی وزن جسم در جابه جایی از A تا B چند ژول است؟



مثال: اگر در سطح شیب دار روبه رو اندازه نیروی اصطکاک برابر یک دهم وزن جسم باشد و جسم دو کیلوگرمی از نقطه A به ارتفاع ۵ متر به نقطه B برسد، کار نیروی جاذبه زمین روی جسم در این جابه جایی چند ژول است؟





قضیه کاروانرژی:

اگر بر جمعی چند نیرو اثر کنند کل کار انجام شده در یک جابه جایی برابر است با تغییرات انرژی جنبشی جم در آن جابه جایی.

$$W_t = \Delta k$$

توجه:

۱- اگر تندی جم در پایان میر از تندی اولیه جم بیشتر بود:

۲- اگر تندی جم در پایان میر از تندی اولیه جم کمتر بود:

۳- اگر تندی جم در آغاز و پایان میر برابر بود:

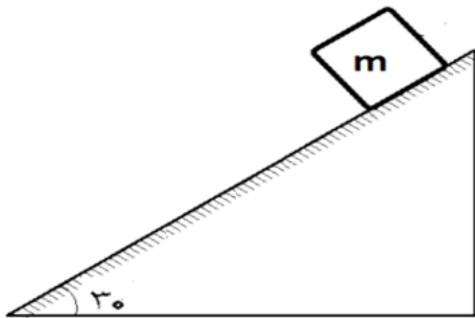
❖ نکته: در سرعت ثابت کار برآیند صفر است.

☑ مثال: اتومبیلی به جرم ۱۰۰۰ کیلوگرم با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه در جاده افقی در حرکت است. اگر اتومبیل خاموش شود و در اثر اصطکاک سرعت آن به ۵ متر بر ثانیه برسد، ابتدا تعیین کنید چه نیروهایی به جم وارد می شوند سپس کار هر یک از این نیروها را بدست آورید.



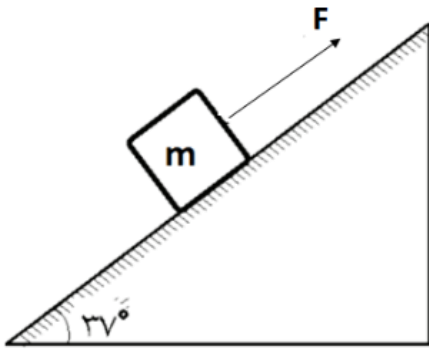
✓مثال: یک گلوله به جرم 30 گرم با سرعت اولیه 500 متر بر ثانیه حرکت می کند. این گلوله بر اثر برخورد با یک چوب به اندازه 12 سانتیمتر در آن فرو می رود. با استفاده از قضیه کار و انرژی نیروی میانگین که گلوله به این قطعه چوب وارد می کند را بدست آورید.

✓مثال: جمی به جرم 2 کیلوگرم را از بالای سطح شیب دار مطابق شکل با سرعت 5 متر بر ثانیه به طرف پایین پرتاب می کنیم هنگامیکه جم 12 متر روی سطح شیب دار جا به جا می شود سرعتش به 8 متر بر ثانیه می رسد، کار نیروی اصطکاک در این جا به جایی چند ژول است.





مثال: در شکل زیر نیروی F وزنه ۲۰۰ نیوتن را با سرعت ثابت $۲ \frac{m}{s}$ روی سطح شیبدار بالا می برد. اگر نیروی اصطکاک در مقابل حرکت جسم ۳۰ نیوتن باشد، کار نیروی F در مدت ۱۰ ثانیه چند ژول است؟



مثال: یک جرم ۲ kg را روی سطح افقی با سرعت اولیه ۷ پرتاب می کنیم. در لحظه ای که اندازه کار نیروی اصطکاک ۴۵ ژول می شود سرعت جسم ۵ متر بر ثانیه کمتر از سرعت اولیه آن است. سرعت اولیه ۷ جرم را بدست آورید.

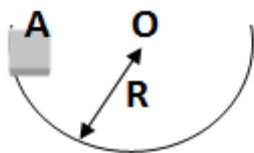
نکته: قضیه کار و انرژی محدود به میر متقیم نمی شود و برای هر میری (حتی خمیده) معتبر است.

مثال: جرم یک خودرو ۲ تن است وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می رود، کار کل انجام شده روی خودرو ۳۶ KJ است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر $۲۸/۸ \text{ Km/h}$ باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

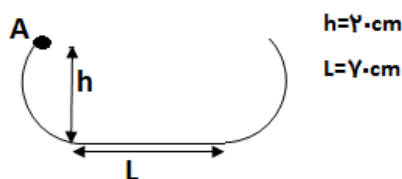




مثال: جرمی درون سطح نیمکره ای مطابق شکل از نقطه A رها می شود و بعد از چند رفت و برگشت لغزشی روی سطح در پایین سطح می ایستد. نسبت کار نیروی اصطکاک به کار نیروی جاذبه چقدر است؟



مثال: ذره ای به جرم $m=0.1\text{kg}$ مطابق شکل از نقطه A رها می شود. سطح خمیده بدون اصطکاک می باشند و نیروی اصطکاک وارد بر ذره برابر 0.1N می باشد. این ذره در نهایت در کجا متوقف می شود؟





مثال: باللی با سرعت $10 \frac{m}{s}$ به سمت پایین حرکت می کند. هنگامیکه باللی در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین قرار دارد گلوله ای را از درون آن به سمت پایین رها می کنیم. سرعت برخورد گلوله با زمین چند $\frac{m}{s}$ است؟

انرژی پتانسیل: وقتی فنر فشرده ای را رها می کنیم یا از بالای یک بلندی به پایین می پریم یا دو گلوله ای برادر را به هم نزدیک می کنیم تا همدیگر را دفع یا جذب کنند، انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می شود. سه نوع مهم از انرژی های پتانسیل عبارتند از:

۱- انرژی پتانسیل گرانشی ۲- انرژی پتانسیل کششی ۳- انرژی پتانسیل الکتریکی

انرژی پتانسیل گرانشی:

یکی از صورت های انرژی که جزء انرژی های پتانسیل محسوب می شود انرژی پتانسیل گرانشی است. هرگاه جرمی در ارتفاعی از سطح زمین قرار داشته باشد، در این جرم به واسطه ی ارتفاعش از سطح زمین، نوعی انرژی ذخیره می شود که به آن انرژی پتانسیل گرانشی می گویند.

انرژی پتانسیل گرانشی با و جرم از سطح زمین رابطه ی مستقیم دارد و رابطه ی آنها به صورت زیر است:

$$U = m g h$$



شتاب گرانشی زمین:

اندازه g شتاب گرانشی زمین در نزدیکی سطح زمین برابر $\frac{9.8}{s^2} m$ است. معمولاً برای ساده شدن محاسبات اندازه g را $\frac{10}{s^2} m$ در نظر میگیریم. اندازه g در نقاط مختلف زمین کمی با هم اختلاف دارد. بطوریکه در استوا کمترین و در قطب ها بیشترین است. هر چند از سطح زمین دور می شویم شتاب گرانشی زمین کمتر می شود.

☑ مثال: برای بالا بردن جمی به جرم 5 kg به اندازه 2 m متر، حداقل چند ژول انرژی باید مصرف کنیم؟

☑ مثال: شخصی به جرم 80 kg از 100 پله ای که ارتفاع هر یک 2 cm است بالا رفته است. انرژی پتانسیل گرانشی او چند ژول زیاد شده است؟

وزن (W): به حاصلضرب جرم جمی در شتاب گرانش زمین وزن جمی گویند. و واحد آن نیوتن (N) است.

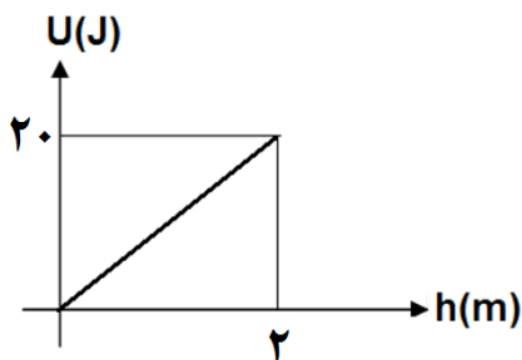
👉 توجه: جرم جمی یک کمیت ثابت است و تغییری نمی کند. ولی وزن جمی ممکن است از یک نقطه تا نقطه ای دیگر تغییر کند.



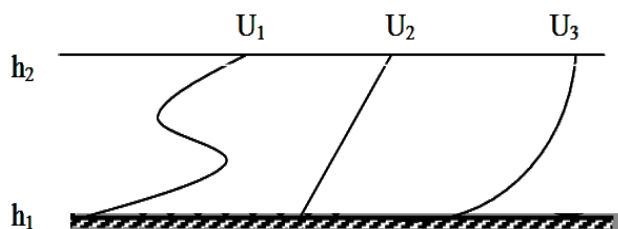
مثال: در شکل مقابل نمودار تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم نسبت به سطح زمین رسم شده است.

الف) جسم چه چندی کینوگرم است؟

ب) انرژی پتانسیل گرانشی جسم در ارتفاع ۱۰ متری چندی ژول است؟



نکته: زمانی که جسمی را از یک مسیر از ارتفاع h_1 به h_2 می بریم فقط تغییرات ارتفاع مهم است و مسیر طی شده در تغییر انرژی پتانسیل گرانشی نقشی ندارد.

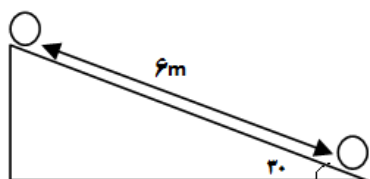


$$U_1 = U_2 = U_3$$

نکته: کار نیروی وزن برابر منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی است.

مثال: جسمی به جرم 2 kg را مطابق شکل زیر روی سطح شیب دار به اندازه 6 m متر به سمت بالا حرکت می

دهیم. افزایش انرژی پتانسیل جسم چندی ژول است؟

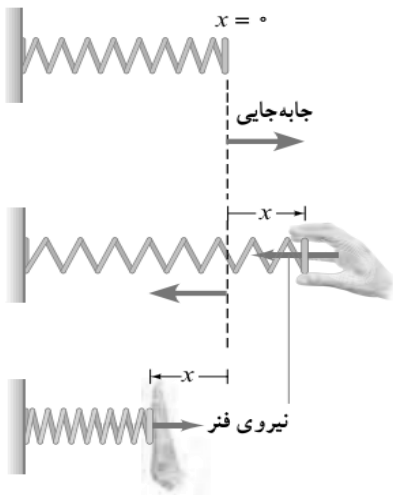




انرژی پتانسیل کشسانی:

کشسان: به اجامی که در اثر وارد شدن نیرو به آنها تغییر شکل می دهند و با برداشتن نیرو دوباره به شکل اولیه خود باز می گردند اجام کشان می گویند مانند فنر، کش و ...

انرژی پتانسیل کشسانی (U_e): انرژی پتانسیل ذخیره شده در فنر کشیده یا فشرده شده را انرژی پتانسیل کشانی می نامند.



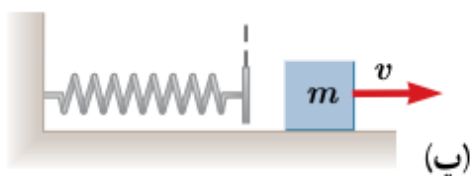
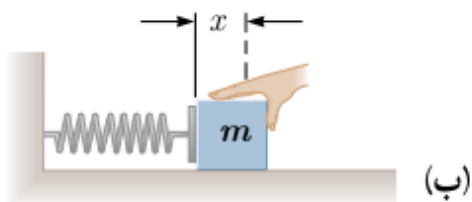
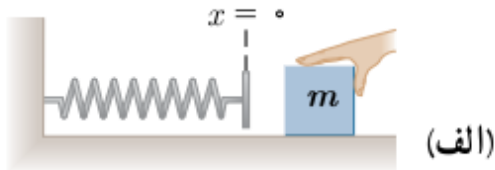
در حالتی که فنر طول عادی خود را دارد می گوییم فنر در حالت تعادل قرار دارد و انرژی پتانسیل کشانی فنر در این حالت صفر است. اگر فنر را کمی فشرده کنیم یا بکشیم، فنر در خلاف جهت جابجایی نیرو وارد می کند بنابراین کار نیروی فنر در این جابجایی منفی است و تغییر انرژی پتانسیل کشانی فنر در این جابجایی مثبت است.

توجه: در مورد تغییر انرژی کشانی فنر نیز مشابه تغییر انرژی پتانسیل گرانشی می

توان نوشت:

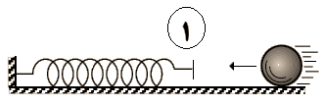
$$W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{کشی}}$$

پیش: دریافت خود را از تصویر زیر بیان کنید. (از اصطکاک صرف نظر کنید).

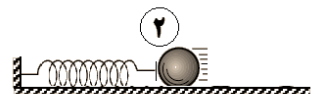




مثال: مطابق شکل زیر گلوله ای به جرم ۲۰۰ گرم به فنر نزدیک شده و در نقطه ی (۱) با سرعت $\frac{m}{s}$ ۵ به آن برخورد می کند.



الف) اگر در نقطه ی (۲) سرعت توپ $\frac{m}{s}$ ۴ باشد، انرژی پتانسیل کشانی فنر چقدر است؟



ب) بیشترین مقدار انرژی پتانسیل کشانی فنر چقدر می تواند باشد؟

انرژی مکانیکی (E): به مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جم انرژی مکانیکی گفته می شود.

$$E = K + U$$

چنانچه در میر حرکت جم نیروهای اتلاف انرژی وجود نداشته باشد انرژی مکانیکی کمیتی ثابت است و برای هر دو نقطه ی دلخواه می توان نوشت:

$$E_1 = E_2$$

نکته: اگر جمی به بالا پرتاب شود رفته رفته از سرعت آن کاسته شده و این کاهش سرعت موجب کم شدن انرژی جنبشی می گردد. مقدار انرژی کسر شده از انرژی جنبشی در حرکت رو به بالا موجب افزایش انرژی پتانسیل می گردد و بالعکس.

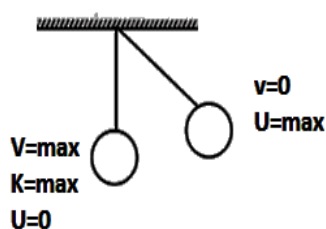


مثال: مطابق شکل زیر جمی به جرم 2 kg از ارتفاع 8 متر بدون سرعت اولیه رها می شود سرعت این جم در ارتفاع 3 متر چقدر است؟



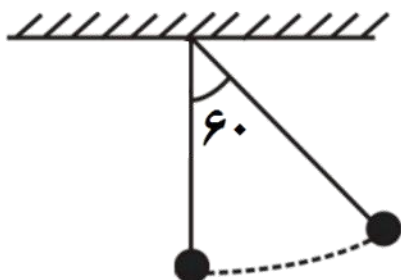
مثال: گلوله ای را با سرعت اولیه $20 \frac{m}{s}$ به طرف بالا پرتاب می کنیم. این گلوله حداکثر تا چه ارتفاعی بالا خواهد رفت؟

نکته: در حل مسائل مربوط به آونگ توجه شود که آونگ در بالاترین نقطه از مسیر خود بیشترین انرژی پتانسیل را دارد و سرعت در آن نقطه صفر می شود و در لحظه عبور از نقطه تعادل بیشترین سرعت و بیشترین انرژی جنبشی را دارد.



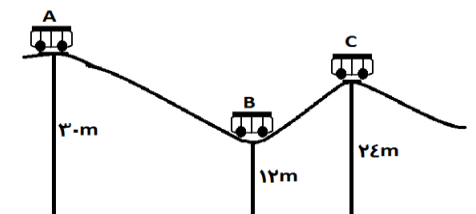


مثال: آونگی به طول ۱ متر را به اندازه ۶۰ درجه مطابق شکل زیر منحرف کرده و رها می کنیم. بیشترین سرعت آونگ چقدر است؟



مثال: در شکل روبه اصطکاک ناچیز است و ارا به بدون سرعت اولیه از حالت A رها می شود. نسبت سرعت ارا به در حالت B به سرعت آن در حالت C کدام است؟ (سراسری ریاضی ۹۱)

۲ (۱) ۳ (۲) $\sqrt{2}$ (۳) $\sqrt{3}$ (۴)





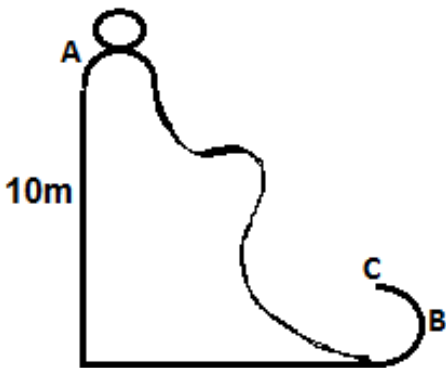
- ✓مثال: از ارتفاع ۲۰ متری زمین جمی را با سرعت $\frac{m}{s}$ ۵ بطرف پایین پرتاب می کنیم.
- الف) سرعت جم هنگام برخورد به زمین چند $\frac{m}{s}$ است؟
- ب) سرعت جم در ارتفاع ۱۵ متری چند $\frac{m}{s}$ است؟

- ✓مثال: جمی از ارتفاع ۶ متری سطح زمین در شرایط خف بدون سرعت اولیه را می شود در چند متری زمین انرژی جنبشی جم دو برابر انرژی پتانسیل گرانشی آن (نسبت به زمین) می شود؟



مثال: بالنی با سرعت $10 \frac{m}{s}$ به سمت پایین حرکت می کند. هنگامیکه بالن در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین قرار دارد گلوله ای را از درون آن به سمت پایین رها می کنیم. سرعت برخورد گلوله با زمین چند $\frac{m}{s}$ است؟

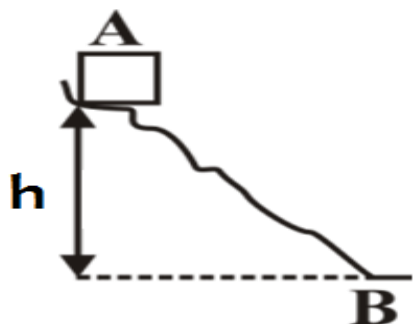
مثال: مطابق شکل جسمی به جرم 2 kg از نقطه A، از حالت سکون رها می شود و وارد نیم کره ای به شعاع 0.1 m می گردد. سرعت جسم را در نقاط B و C بدست آورید.



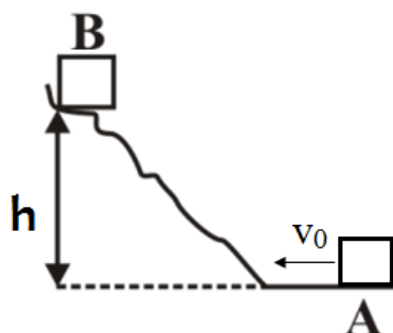
مثال: جسمی به جرم 2 کیلوگرم از سطح زمین بطور عمودی به طرف بالا پرتاب می شود و حداکثر ارتفاع h نسبت به زمین بالا می رود. اگر انرژی جنبشی جسم در فاصله $\frac{h}{4}$ از نقطه اوج 200 ژول باشد، ارتفاع h چند متر است.



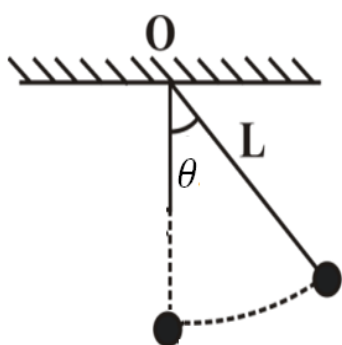
نکته ۱: جرم m مطابق شکل از حال سکون از نقطه A رها می شود. سرعت آن در پایین ترین نقطه عبارت است از:



نکته ۲: جرم m با سرعت v از نقطه A مطابق شکل عبور کرده و سطح بدون اصطکاک را بالا می رود. حداکثر ارتفاعی که بدست می آورد عبارت است از:



نکته ۳: آونگی به طول L را به اندازه θ از وضع قائم منحرف ساخته و رها می کنیم. بیشترین ارتفاع آونگ و سرعت طولی آن هنگام عبور از وضع تعادل عبارت است از:



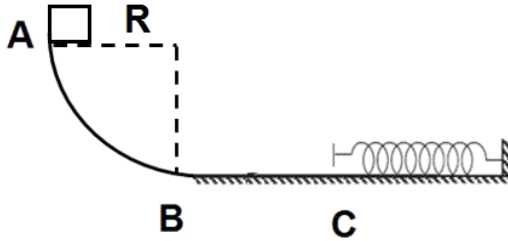


مثال: در شکل مقابل اصطکاک ناچیز و جرم جسم 4 kg است. جسم از حالت سکون در مسیر دایره ای از نقطه A

رها می شود و با سرعت $20 \frac{m}{s}$ به فنر برخورد می کند.

الف) شعاع R چقدر است؟

ب) حداکثر انرژی کشانی ذخیره شده در فنر چقدر است؟



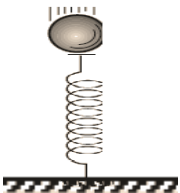
مثال: مطابق شکل جسمی به جرم 1 kg را روی فنر قائمی قرار داده ایم و فنر 50 cm نسبت به وضع عادی فشرده شده

است. انرژی پتانسیل کشانی ذخیره شده در فنر در این حالت ۵۰ است. اگر جسم رها شود، سرعت جسم هنگامی که

از سطح فنر جدا می شود چند $\frac{m}{s}$ است؟

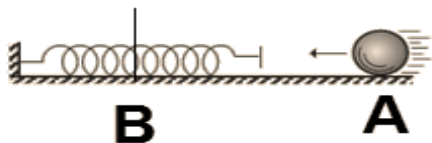
الف) شعاع میسر کروی AB چند متر است؟

ب) حداکثر ذخیره شده در فنر چند ژول است؟





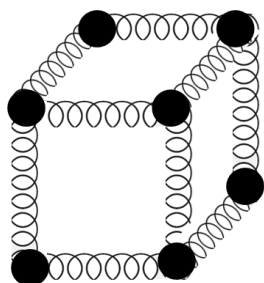
❑ مثال: مطابق شکل طولی ای با سرعت $\frac{m}{s}$ ۳ به یک فنر افقی برخورد می کند. اگر در نقطه B انرژی جنبشی توپ دو برابر انرژی پتانسیل کشنی فنر باشد، در این نقطه سرعت توپ چند $\frac{m}{s}$ است؟



انرژی درونی:

مجموع انرژی ذرات تشکیل دهنده یک جسم را انرژی درونی می گویند.

می دانیم که در یک ماده ذرات تشکیل دهنده آن مدام در حال نوسان هستند و دارای انرژی جنبشی و پتانسیل میباشند به مجموع همه ی این انرژی ها انرژی درونی می گویند.



❖ نکته: انرژی درونی معمولاً به صورت گرما در اجسام ظاهر می شود.

پرسش: پنبه ای که در حال چرخش است را خاموش می کنیم. پنبه به تدریج می ایستد. توضیح دهید انرژی جنبشی پنبه کجا می رود؟



❖ نکته: هرگاه به جمعی گرما داده شده حرکت مولکول‌های آن بیشتر شده و در نتیجه انرژی مولکول‌ها بیشتر شده و باعث افزایش انرژی درونی می‌شوند.

«گرما باعث زیاد شدن انرژی درونی می‌شود.»

👉 توجه: بر اثر مالش دو سطح روی یکدیگر، مقداری انرژی به انرژی درونی دو جسم تبدیل می‌شود. چون در عمل انرژی درونی را نمی‌توان مورد استفاده قرار داد، اصطلاحاً گفته می‌شود که هرگاه صورتی از انرژی به انرژی درونی تبدیل شود، آن انرژی تلف شده است مانند اصطکاک.

اتلاف انرژی (Q_f): اگر به دلیل وجود اصطکاک و مقاومت هوا، اتلاف انرژی رخ دهد، قسمتی از انرژی اولیه جسم به انرژی درونی تبدیل می‌شود و انرژی مکانیکی نهایی جسم از انرژی مکانیکی کمتر خواهد بود ($E_v < E_1$)
انرژی مکانیکی اولیه جسم (E_1) به اندازه‌ی اتلاف انرژی، کم می‌شود و انرژی مکانیکی نهایی (E_v) برابر خواهد بود با:

$$E_1 - E_v = Q_f \Rightarrow E_v = E_1 - Q_f$$

👉 تذکر: در بسیاری از مسائل انرژی تلف شده بر حسب درصد بیان می‌شود به عنوان مثال اگر گفته شود «۲۰٪ انرژی جسم تلف می‌شود» این عبارت به این معنی است که ۲۰٪ انرژی مکانیکی اولیه جسم تلف شده است:
 $Q_f = \frac{20}{100} E_1 \Rightarrow E_v = \frac{80}{100} E_1$

☑ مثال: جمعی به جرم ۲ kg با سرعت $4 \frac{m}{s}$ از سطح زمین در راستای قائم به سمت بالا پرتاب می‌کنیم. اگر ۲۵٪ انرژی جسم به دلیل مقاومت هوا تلف شود جمیعاً چه ارتفاعی بالا می‌رود؟



مثال: جرم به جرم ۱ kg با سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه از پایین سطح شیب‌دار که با افق زاویه ۳۷ درجه می‌سازد، به طرف بالا پرتاب می‌شود. هنگامی که جرم روی سطح شیب‌دار ۲ متر را روبه بالا طی می‌کند سرعتش به ۲ متر بر ثانیه می‌رسد. انرژی مکانیکی جرم در این جابجایی چند ژول کاهش می‌یابد؟ (سراسری تجربی ۹۲)

۱۶ (۴)

۸ (۳)

۶ (۲)

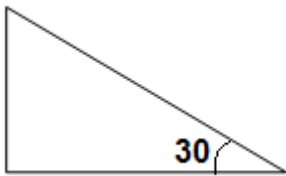
۴ (۱)

مثال: گلوله‌ای با سرعت $40 \frac{m}{s}$ به یک طرف مانع برخورد می‌کند و با سرعت $10 \frac{m}{s}$ از طرف دیگر خارج می‌شود چند درصد انرژی اولیه گلوله صرف انرژی درونی مانع و گلوله می‌شود؟



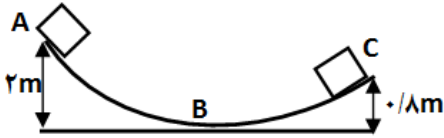
مثال: جرم به جرم 4 kg روی یک سطح افقی در حال حرکت است. در لحظه t مشخص گرمای ایجاد شده توسط نیروهای مقاوم حرکت به 50 J می رسد. در این لحظه، سرعت جرم $\frac{2}{5} \text{ m/s}$ کمتر از سرعت ابتدای حرکت است. سرعت ابتدایی چند $\frac{m}{s}$ بوده است؟

مثال: جرم به جرم 2 kg را از بالای سطح شیب دار مطابق شکل با سرعت $\frac{5}{s} \text{ m/s}$ پرتاب می کنیم. اگر 12 متر روی سطح شیب دار پایین بیاید سرعتش به $\frac{8}{s} \text{ m/s}$ می رسد، مقدار گرمای تولید شده چند ژول است؟

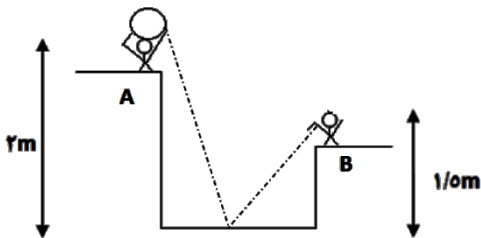




مثال: جرم به جرم 0.4 kg مطابق شکل می‌ABC را طی می‌کند. اگر سرعت جرم در نقطه‌ی A برابر $\frac{1}{5} \text{ m/s}$ و اختلاف انرژی در طول می‌ABC برابر $\frac{1}{5}$ ژول باشد. انرژی جنبشی جرم در نقطه‌ی C چند ژول خواهد بود؟



مثال: شخصی که در بالای A قرار دارد یک توپ بادی را مطابق شکل بر می‌نقطه‌ی چین پرتاب می‌کند تا به شخص دیگری که در بلندی B ایستاده برسد. اگر هنگام برخورد توپ با زمین 40% از انرژی آن تلف شود، شخص اول توپ را حداقل با چه سرعتی پرتاب کند تا توپ به شخص دوم برسد؟





پایستگی انرژی:

همه ی رویدادهای طبیعی شامل تخییر انرژی از صورتی به صورت دیگر هستند اما در این تخییرات میزان کل انرژی ثابت می ماند و تخییر نمی کند.

قانون پایستگی انرژی: انرژی یک جسم هیچگاه از بین نمی رود و خود به خود نیز به وجود نمی آید و همواره پایسته (ثابت) می ماند، مگر اینکه مقداری از آن را به جسم دیگری بدهد و یا اینکه از جسم دیگری انرژی دریافت کند.

تذکره: مقدار انرژی همواره پایسته می ماند، اما می تواند از یک نوع به نوع دیگر تبدیل شود.

پرسش: قانون پایستگی انرژی را در مورد یک اتومبیل در حال حرکت به کار ببرید.

$$P = \frac{w}{t}$$

توان: کار انجام شده در واحد زمان را توان می نامند.

یکای این کمیت نرده ای، وات می باشد.

اسب بخار: گاهی برای بیان توان از واحدی به نام اسب بخار استفاده می کنند.

$$1 \text{ hp} = 736 \text{ w}$$

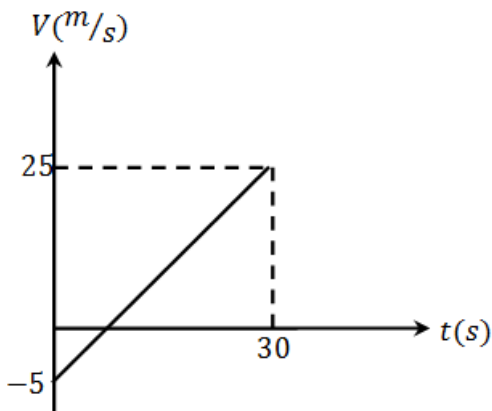
***نکته:** کار انجام شده توسط ماشین در شرایط ایده آل به تخییرات انرژی مکانیکی جسم تبدیل می گردد که معمولاً در مسئله ها یا فقط برابر تخییرات انرژی جنبشی و یا فقط برابر تخییر انرژی پتانسیل است.



✓مثال: اتومبیلی به جرم ۸۰۰ کیلوگرم در یک جاده افقی روی خط راست از حال سکون شروع به حرکت می‌کند اگر توان متوسط اتومبیل ۱۶ کیلووات باشد، پس از ۱۰ ثانیه سرعتش به چند کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

✓مثال: نمودار سرعت زمان متحرکی به جرم ۲ kg مطابق شکل مقابل است. توان متوسط این متحرک در مدت

۳۰ s چند وات است؟



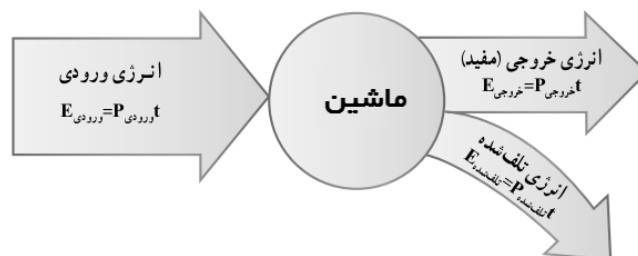
✓مثال: یک ماشین آتش‌زنه در هر دقیقه ۱۵۰ کیلوگرم آب را با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه از دهانه‌ی لوله‌ای به خارج می‌فرستد. توان مفید پمپ چقدر است؟



✓ مثال: لوکوموتیوی با توان مفید $P = 1/5 \times 10^6 \text{ W}$ در مدت $t = 2 \text{ min}$ سرعت قطاری را از $V_1 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ به $V_2 = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ افزایش می‌دهد. با صرف نظر از نیروی اصطکاک، جرم قطار را به دست آورید.

ماشین‌ها:

ماشین وسیله‌ای است که با آن کار انجام می‌دهیم.
بازده یک ماشین به ترتیب زیر تعریف می‌شود:





✓مثال: توان یک تلمبه ۲ کیلووات و بازده آن ۹۵٪ است. این تلمبه در هر دقیقه چند کیلوگرم آب را از عمق ۹/۵ متری بالا می‌برد؟

✓مثال: توان مصرفی یک موتور الکتریکی ۴۰۰ وات و بازده آن ۷۵٪ است. در هر دقیقه چند کیلوژول انرژی الکتریکی در آن تبدیل به گرما می‌شود.