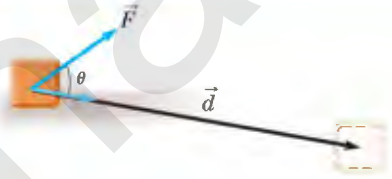
۴ کار و انرژی

۴-۱. کار

هنگامی‌که به جسمی نیرو وارد می‌شود، ممکن است جسم تحت تأثیر نیروهای وارد بر آن حرکت کند و ممکن است ساکن بماند. اگر جسم حرکت کند، گفته می‌شود که نیروهای وارد بر آن، هر کدام مقداری کار انجام داده‌اند. بر طبق تعریف، کار انجام شده توسط نیروی ثابت F در جابه‌جایی روی خط راستِ d، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:



شکل ۴-۱: کار انجام شده توسط نیروی ثابت $\vec{F}$ در جابه‌جایی $\vec{d}$ روی خط راست.

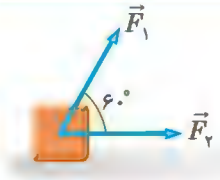
$$W_F = F\,d\cos\theta \qquad (۱-۴)$$

در این رابطه، θ زاویه‌ی میان نیرو و جابه‌جایی است. یکای کار در SI، نیوتون متر ($\mathrm{N.m}$) است که به آن ژول گفته می‌شود و آن را با J نشان می‌دهیم.

نکته: کار، کمیّتی اسکالر است که مقدار آن می‌تواند مثبت ($0^\circ \le \theta < 90^\circ$)، صفر ($\theta = 90^\circ$) یا منفی ($90^\circ < \theta \le 180^\circ$) باشد.

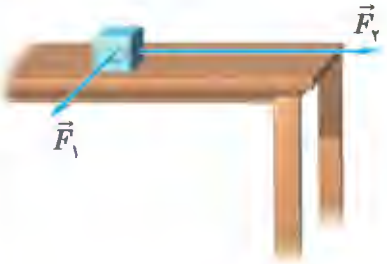
Sanatisharif.ir

مثال ۱



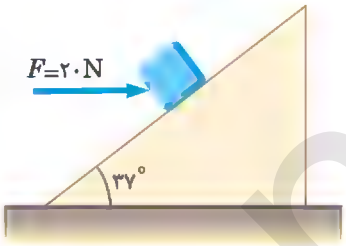
دو نیروی هم اندازه‌ی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ مطابق شکل بر جسمی اثر می‌کنند و آن را روی سطح به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنند. در این جابه‌جایی کار نیروی $\vec{F}_2$ چند برابر کار برآیند دو نیرو است؟

مثال ۲



مطابق شکل دو نیروی افقی و عمود بر هم $F_1 = 5\,\mathrm{N}$ و $F_2 = 12\,\mathrm{N}$ بر جسم ساکنی اثر می‌کنند و جسم در راستای برآیند این دو نیرو جابه‌جا می‌شود. کار نیروی F_1 چند برابر کار نیروی F_2 است؟

مثال ۳

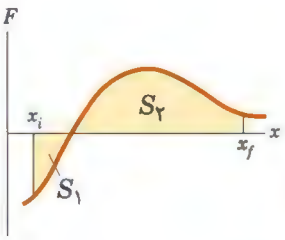


در شکل مقابل جسمی به جرم $m = 2\,\mathrm{kg}$ تحت تأثیر نیروی افقی F قرار دارد و با سرعت ثابت $2\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ به‌طرف بالا حرکت می‌کند. کار هر کدام از نیروهای وارد بر جسم، پس از گذشت $5\,\mathrm{s}$، چند ژول است؟

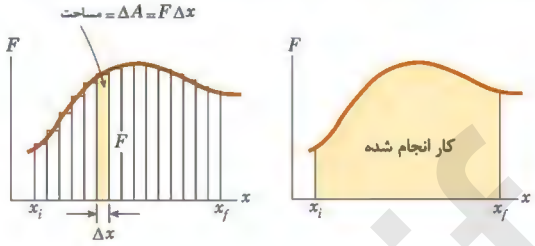
Sanatisharif.ir

نکته: اگر نمودار نیرو بر حسب جابه‌جایی برای یک جسم مشخّص باشد، مساحت نمودار زیر نمودار، بیان کننده‌ی کار انجام شده توسط نیروی مورد نظر در جابه‌جایی انجام شده است.

$$W = S_{F-x} = -S_1 + S_2 \qquad (۲-۴)$$

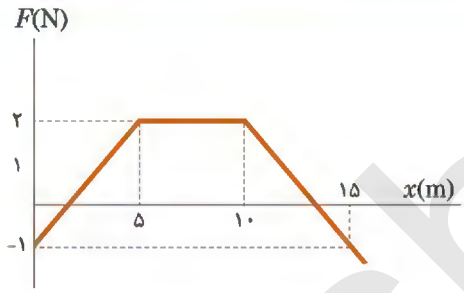


شکل ۴-۲: برای تعیین کار، باید برای مساحت‌ها علامت در نظر گرفته شود.



شکل ۴-۳: کار انجام شده توسط نیروی ثابت $\vec{F}$، برابر مساحت زیر نمودار $F-x$ است.

مثال ۴



شکل مقابل، نمودار نیروی وارد بر جسمی را بر حسب مکان نشان می‌دهد. کار انجام شده توسط این نیرو را در هرکدام از جابه‌جایی‌های زیر تعیین کنید:

الف) از $x_1 = ۰$ تا $x_2 = ۵\,m$.

ب) از $x_2 = ۵\,m$ تا $x_3 = ۱۵\,m$.

پ) از $x_1 = ۰$ تا $x_3 = ۱۵\,m$.

نکته: کار انجام شده توسط نیروی $\vec{F}$ در جابه‌جایی $\vec{d}$ (با فرض ثابت بودن هر دو بردار) به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$W = \vec{F}.\vec{d} = F_x d_x + F_y d_y + \cdots \qquad (۳-۴)$$

مثال ۵

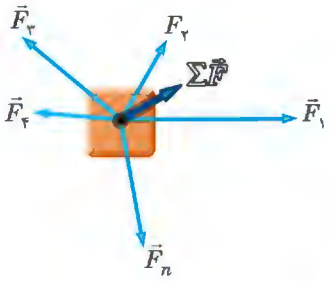
کار انجام شده توسط دو نیروی $\vec{F}_1 = ۴\vec{i} - ۳\vec{j}$ و $\vec{F}_2 = ۲\vec{i} - ۵\vec{j}$ در جابه‌جایی $\vec{d} = \alpha\vec{i} + \beta\vec{j}$ با هم برابر است. بردار $\vec{d}$ با محور x چه زاویه‌ای می‌سازد؟

Sanatisharif.ir

نکته: هنگامی‌که چند نیرو به یک جسم وارد می‌شود، می‌توان از کار برایند نیروهای وارد بر جسم صحبت کرد. در این‌صورت اگر نیروهای F_1 ، F_2 ، ... و F_n بر جسم وارد شود و برایند نیروهای مورد نظر را با $\sum \vec{F}$ نمایش دهیم، کار برایند نیروهای وارد بر جسم در جابه‌جایی d عبارتست از:

$$W_{\sum \vec{F}} = \left|\sum \vec{F}\right| d\cos\alpha \qquad (۴-۴)$$

که در این رابطه، α زاویه‌ی میان بردار برایند نیروهای وارد بر جسم و جابه‌جایی است.



شکل ۴-۴: نیروهای وارد بر جسم و برایند نیروهای وارد بر آن.

نکته: به کمک تعریف کار می‌توان نشان داد، کار برایند نیروهای وارد بر جسم، با جمع جبری کار نیروهای وارد بر آن برابر است. یعنی:

$$W_{\sum \vec{F}} = \sum W_{\vec{F}} \qquad (۵-۴)$$

زیرا:

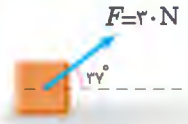
$$W_{\sum \vec{F}} = \sum \vec{F}.\vec{d} = \left(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n\right).\vec{d} = \vec{F}_1.\vec{d} + \vec{F}_2.\vec{d} + \cdots + \vec{F}_n.\vec{d}$$
$$= W_1 + W_2 + \cdots + W_n = \sum W_F$$

مثال ۶

در مثال ۳، کار برآیند نیروهای وارد بر جسم، چند ژول است ؟

مثال ۷

مطابق شکل، نیروی F به جسمی به جرم $m = ۱۰\,kg$ وارد می‌شود و جسم را $۱۰\,m$ روی سطح افقی به ضریب اصطکاک $\mu_k = ۰/۲۵$ جابه‌جا می‌کند.



الف) کار هر کدام از نیروهای وارد بر جسم در این جابه‌جایی را بیابید.

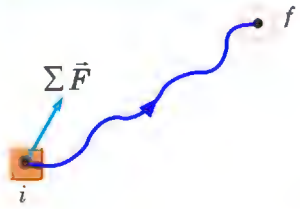
ب) کار برآیند نیروهای وارد بر جسم در این جابه‌جایی چند ژول است؟

Sanatisharif.ir

۴-۲. قضیه کار و انرژی

بر طبق این قضیه، کار برایند نیروهای وارد بر جسم در هر جابه‌جایی، برابر تغییرات جنبشی در آن جابه‌جایی است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$W_{\sum \vec{F}} = \Delta K$$



شکل ۴-۵: قضیه‌ی کار و انرژی، یک رابطه‌ی بسیار کاربردی برای حل مسائل است!

و با توجّه به آن‌چه قبلا گفته شد، معمولا قضیه‌ی کار و انرژی به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$W_1 + W_2 + \cdots + W_n = \frac{1}{2} m\left(v_f^2 - v_i^2\right) \quad (۴-۶)$$

یعنی مجموع کار نیروهای وارد بر جسم در هر جابه‌جایی، برابر تغییرات انرژی جنبشی در آن جابه‌جایی است.

مثال ۸

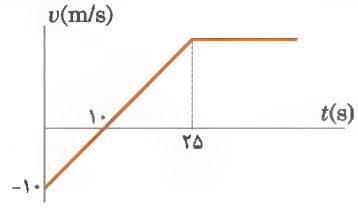
خودروی کوچکی به جرم $500\,kg$ با سرعت $36\,\frac{km}{h}$ در حال حرکت است. سرعت خودرو را چند درصد افزایش دهیم تا انرژی جنبشی آن $11\,kJ$ ژول افزایش یابد؟

مثال ۹

در مثال ۶، اگر جسم از حال سکون شروع به حرکت کرده باشد، سرعت آن پس از پیمودن مسافت $10\,m$، چه‌قدر است؟

مثال ۱۰

نمودار سرعت ـ زمان جسمی به جرم $4\,kg$ که بر خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. کار برایند نیروهای وارد بر جسم را در هرکدام از بازه‌های زمانی زیر تعیین کنید:



الف) بین لحظات $t = 5\,s$ و $t = 30\,s$.

ب) بین لحظات $t = 2/5\,s$ و $t = 17/5\,s$.

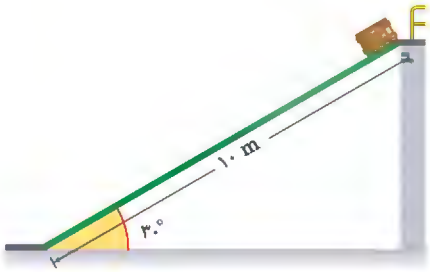
Sanatisharif.ir

مثال ۱۱

گلوله‌ی کوچکی به جرم $۵۰\,g$ با سرعت افقی $۱۰۰\frac{m}{s}$ وارد یک قطعه چوب به ضخامت $۲۰\,cm$ شده و با سرعت $۶۰\frac{m}{s}$ از آن خارج می‌شود. به کمک قضیه‌ی کار و انرژی، متوسط نیروی وارد بر گلوله را تعیین کنید.

مثال ۱۲

مطابق شکل، جسمی به جرم $۲kg$ از بالای سطح شیبدار، با سرعت ثابت به‌طرف پایین حرکت می‌کند. کار نیروی اصطکاک در این جابه‌جایی چند ژول است؟



۴-۳. نیروهای پایستار و نا پایستار

در یک تقسیم‌بندی، می‌توان نیروها را به دو گروه تقسیم کرد:

۱) نیروهای پایستار: این دسته از نیروها، دارای ویژگی‌های زیر هستند:

الف) کار این نیروها به مسیر بستگی ندارد و فقط تابع شرایط اولیّه و نهایی جسم است:

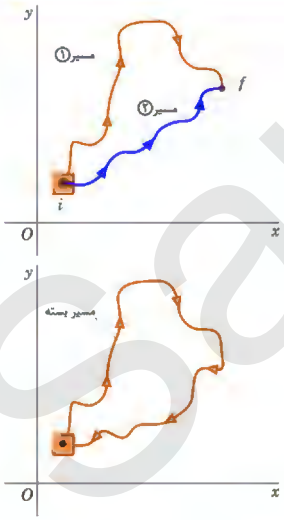
$$W_۱ = W_۲ = \cdots$$

ب) کار انجام شده توسط این نیروها در هر سیر بسته، صفر است.

$$W_{\text{مسیر بسته}} = ۰$$

پ) این نیروها پتانسیل‌پذیر هستند. یعنی می‌توان برای این نیروها، تابعی مانند U پیدا کرد، به گونه‌ای که کار انجام شده توسط نیروی پایستار در یک جابه‌جایی، برابر با قرینه‌ی تغییرات انرژی پتانسیل در آن جابه‌جایی باشد:

$$W_{\text{پایستار}} = -\Delta U \qquad (۴-۷)$$



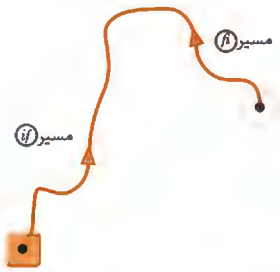
شکل ۴-۷: ویژگی‌های نیروهای پایستار.

در کتاب‌های فیزیک دبیرستان، با سه نیروی پایستار برخورد می‌کنیم: نیروی وزن، نیروی کشسانی فنر و نیروی الکتریکی. با توجّه به پتانسیل‌های تعریف شده برای آن‌ها داریم:

sanatisharif.ir

	نیرو	پتانسیل	کار
وزن	$F=mg$	$U_g=mgh$	$W_{\text{وزن}}=mg(h_i-h_f)$
کشسانی فنر	$F=-kx$	$U_s=\frac{1}{2}kx^2$	$W_{\text{فنر}}=\frac{1}{2}k\left(x_i^2-x_f^2\right)$
الکتریکی	$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lvert q_1 q_2\rvert}{r^2}$	$U_e=q.V$	$W_{\text{میدان الکتریکی}}=q\left(V_i-V_f\right)$

۲- نیروی ناپایستار: این دسته نیروها، ویژگی‌های نیروهای ناپایستار را ندارند، به عبارت دیگر کار انجام شده توسط این نیروها به مسیر بستگی دارد و در نتیجه‌ی کار این نیروها در یک مسیر بسته صفر نیست.



شکل ۴-۷: کار نیروی ناپایستار به مسیر بستگی دارد.

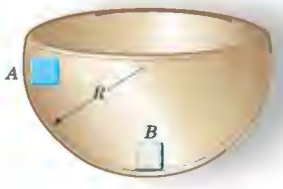
نکته: کار انجام شده توسط نیروی ناپایستار در مسیر if با کار همین نیرو در مسیر باز گشت برابراست.

$$W_{if}=W_{fi}$$

مثال ۱۳

مطابق شکل، یک منبع استوانه‌ای شکل آب که مساحت سطح قاعده و ارتفاع آن به ترتیب $40\,m^2$ و $2\,m$ است، در ارتفاع ۳۰ متری سطح زمین نصب شده و به طور کامل از آب پر شده است. آب درون مخزن به طور کامل روی زمین تخلیه می‌شود. کار نیروی وزن در این مدت چند کیلوژول است؟

مثال ۱۴



مطابق شکل، جسمی به جرم $200\,g$ از نقطه‌ی A درون نیم‌کره‌ای به شعاع $R=20\,cm$ رها می‌شود. این جسم پس از چند بار رفت و برگشت، در نهایت در نقطه‌ی B متوقف می‌شود. کار نیروی اصطکاک در این حرکت چند ژول است؟

Sanatisharif.ir

مثال ۱۵

از پایین سطح شیب‌داری با زاویه‌ی شیب 37° و ضریب اصطکاک جنبشی $\mu = 0/3$، جسمی به جرم $4\,kg$ را روی سطح با سرعت اولیه‌ی $10\,\frac{m}{s}$ به طرفِ بالا پرتاب می‌کنیم.

الف) به کمک قضیه‌ی کار و انرژی تعیین کنید این جسم حداکثر تا چه مسافتی روی سطح پیش می‌رود؟

ب) کار نیروهای وزن و اصطکاک در این حرکت چند ژول است؟

مثال ۱۶

جسمی به جرم $500\,g$ از ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین رها می‌شود و با سرعت $10\,\frac{m}{s}$ به زمین برخورد می‌کند. کار نیروی مقاومت هوا در این حرکت چه‌قدر است؟

مثال ۱۷

جسمی به جرم $200\,g$ با سرعت $10\,\frac{m}{s}$ تحت زاویه‌ی 37° نسبت به افق پرتاب می‌شود و با سرعت $8\,\frac{m}{s}$ به زمین برخورد می‌کند. کار نیروی مقاومت هوا در این مدّت چند ژول است؟

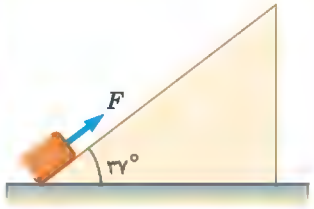
نکته: کار نیروی اصطکاک برای جسمی که روی سطح شیب‌دار حرکت می‌کند، در حالت کلّی از رابطه‌ی $W_{f_k} = -\mu_k N d$ به‌دست می‌آید و اگر نیروی خارجی به جسم وارد نشود، در این‌صورت $N = mg\cos\alpha$ خواهد بود و می‌توان نوشت:

$$W_{f_k} = -\mu_k mg\, d\cos\alpha \qquad (۸-۴)$$

که در این رابطه، α زاویه ی سطح شیب‌دار با راستای افق است.

Sanatisharif.ir

مثال ۱۸



نیروی F به موازات سطح بر جسمی به جرم $2kg$ که در پایین سطح شیب‌دار است، وارد شده و آن را از حال سکون به راه می اندازد، به طوری که سرعت آن پس از طی مسافت $5m$ روی سطح به $10\frac{m}{s}$ می‌رسد. اگر ضریب اصطکاک جنبشی سطح $0/25$ باشد، کار نیروی F در این مدت چند ژول است؟

مثال ۱۹

مطابق شکل، در یک دستگاه پایه کوبی، پتکی به جرم $200kg$ را به ارتفاع $3m$ بالای پایه‌ی آهنی می‌برند و آن را رها می‌کنند. پایه در اثر برخورد پتک، $10cm$ در زمین فرو می‌رود. ریل‌های قائمی که پتک را هدایت می‌کنند، نیروی اصطکاک ثابت $60N$ بر آن وارد می‌کنند. با استفاده از قضیه‌ی کار و انرژی ...

الف) سرعت پتک در لحظه‌ی قبل از برخورد به پایه را به دست آورید.

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

Samansharif.ir

مثال ۲۰

شخصی به جرم $50\,kg$ داخل آسانسوری قرار دارد و آسانسور ۵ متر بالا می‌رود. در هریک از موارد زیر کار هرکدام از نیروهای وارد بر شخص را تعیین کنید:

الف) آسانسور با سرعت ثابت بالا می‌رود.

ب) آسانسور شتاب ثابت رو به بالای $0/5\,\frac{m}{s^2}$ دارد.

نکته: کار تمام نیروهای مرکزگرا در حین حرکت صفر است؛ زیرا در این حالت جابه‌جایی بر نیرو عمود است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت:

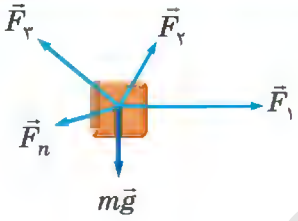
- کار نیروی کشش نخ در حرکت آونگ صفر است.
- کار نیروی مغناطیسی وارد بر ذره‌ی باردار متحرّک داخل میدان مغناطیسی (qVB) صفر است.
- کار نیروی وزن، همواره در هر جابجایی دلخواه در مدار ماهواره صفر است.
- کار نیروی هسته‌ی اتم روی الکترون در چرخش به دور هسته صفر است.

۴-۴. قانون پایستگی انرژی

اگر به جسمی نیروهای پایستار (وزن، کشسانی فنر و الکتریکی) و نیروهای غیرپایستار وارد شود، با توجه به قضیه‌ی کار و انرژی داریم:

$$W_1+W_2+\cdots+W_n=\Delta K$$

$$\sum W_{\text{غیرپایستار}}+W_{\text{وزن}}+W_{\text{فنر}}+W_{\text{الکتریکی}}=\Delta K$$



شکل ۴-۸: نیروی وزن، جزء نیروهای پایستار و پتانسیل پذیر است.

اکنون با توجّه به پتانسیل‌پذیر بودن نیروهای پایستار می‌توان نوشت:

$$\sum W_{\text{غیرپایستار}}-\Delta U_g-\Delta U_s-\Delta U_e=\Delta K$$

$$\Rightarrow \sum W_{\text{غیرپایستار}}=\Delta U_g+\Delta U_s+\Delta U_e+\Delta K$$

در بحث مکانیک، معمولا نیروی الکتریکی وجود ندارد و می‌توان از آن در ادامه بحث صرف‌نظر کرد. در این صورت داریم:

$$\sum W_{\text{غیرپایستار}}=\Delta(U_g+U_s+K)$$

اگر مجموع انرژی های پتانسیل و جنبشی وارد بر جسم را انرژی مکانیکی به نامیم و آن را با E نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\sum W_{\text{غیرپایستار}}=\Delta E \qquad (۹-۴)$$

$$E=U_g+U_s+K=mgh+\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}mv^2 \qquad (۱۰-۴)$$

Sanatisharif.ir

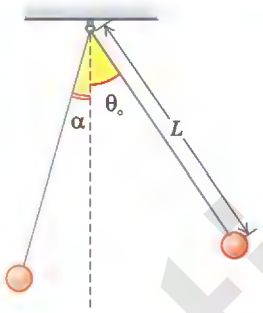
رابطه‌ی اخیر را **قانون پایستگی انرژی** می‌نامیم. بدیهی است که اگر نیروهای غیر پایستار وجود نداشته باشد یا کار انجام شده توسط این نیروها صفر شود، $\sum W_{\text{غیر پایستار}} = 0$ است و در نتیجه می‌توان نوشت:

$$\Delta E = 0 \quad \Rightarrow \quad E_i = E_f \qquad (۱۱-۴)$$

مثال ۲۱

جسمی از سطح زمین در راستای قائم با سرعت اولیه‌ی $20\frac{m}{s}$ به طرف بالا پرتاب می‌کنیم. در لحظه‌ای که سرعت جسم $8\frac{m}{s}$ است، جسم در چه کسری از ارتفاع بیشینه قرار دارد؟ (از مقاومت هوا صرف نظر می شود.)

مثال ۲۲



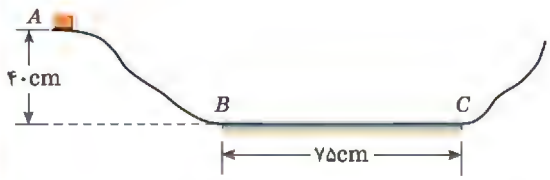
آونگی به جرم m توسط ریسمانی به طول L به سقف متصل است. آونگ از وضع تعادل به اندازه‌ی θ_0 منحرف شده و رها می‌شود.

الف) اگر اصطکاک و مقاومت هوا وجود نداشته باشد، حد اکثر سرعت جسم در طول حرکت چه‌قدر است؟

ب) اگر اصطکاک و مقاومت هوا باشد و جسم در سوی دیگر به اندازه‌ی α حداکثر منحرف شود، کار نیروی اتلاف کننده چند ژول است؟

مثال ۲۳

در شکل زیر، سطوح منحنی اصطکاک ندارد و ضریب اصطکاک جنبشی سطح افقی، $\mu_k = 0/2$ است. اگر جسم از نقطه‌ی A رها شود، در نهایت در چه فاصله‌ای از نقطه‌ی B متوقف می شود؟



Sanatisharif.ir

مثال ۲۴

در شکل زیر، جرم ۲ کیلوگرمی با سرعت $۸\frac{m}{s}$ از نقطه‌ی A می‌گذرد و پس از طی مسیر نشان داده شده، به یک فنر با ضریب سختی $k = ۸\frac{N}{cm}$ برخورد کرده آن را حداکثر $۱۰cm$ فشرده می‌کند.

الف) کار نیروی اصطکاک در طول مسیر حرکت چند ژول است؟

ب) اگر سرعت جسم در نقطه‌ی B، $۱۰\frac{m}{s}$ باشد، ضریب اصطکاک جنبشی سطح افقی را تعیین کنید.

مثال ۲۵

جسمی از ارتفاع H، بدون سرعت اولیّه، در شرایط خلأ رها می‌شود و با سرعت V_m به زمین برخورد می‌کند. اگر سرعت جسم در ارتفاع h از سطح زمین، v باشد، نشان دهید:

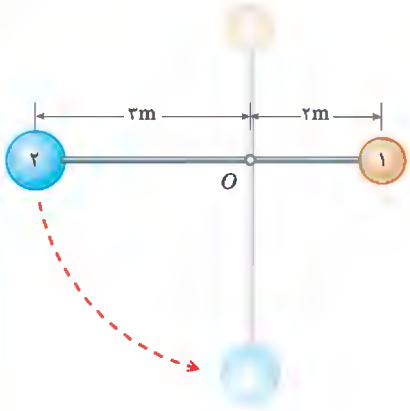
$$\frac{h}{H}+\left(\frac{v}{V_m}\right)^{۲}=۱$$

نکته: برای سیستمی که از چند جسم تشکیل شده است، انرژی مکانیکی هر جسم به تنهایی پایسته نیست؛ بلکه مجموع انرژی‌ها مکانیکی تمامی اجسام ثابت می‌ماند. بنابراین برای چنین مجموعه‌ای خواهیم داشت:

$$E_i = E_f \Rightarrow E_{i۱}+E_{i۲}+\cdots = E_{f۱}+E_{f۲}+\cdots \qquad (۱۲\text{-}۴)$$

Sanatisharif.ir

مثال ۲۶

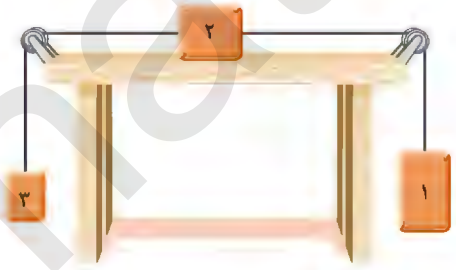


میله‌ی نازکی فلزی به جرم ناچیز به طور افقی و در حال سکون قرار دارد و می‌تواند حول نقطه‌ی O دوران کند. دو جرم $m_۱ = ۱\text{kg}$ و $m_۲ = ۴\text{kg}$ به دو سر میله متّصل هستند. اگر اتلاف انرژی وجود نداشته باشد:

الف) بیشینه‌ی انرژی جنبشی مجموعه چند ژول خواهد شد؟

ب) در لحظه‌ای که میله به‌صورت عمودی قرار می‌گیرد، سرعت هر کدام از دو جرم را تعیین کنید.

مثال ۲۷



$m_۱ = ۵\text{kg}$; $m_۲ = ۲\text{kg}$; $m_۳ = ۳\text{kg}$

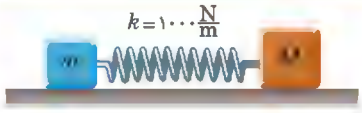
در شکل مقابل، دستگاه شروع به حرکت می‌کند. هنگامی که جسم شماره‌ی (۱) به اندازه‌ی $۲۵\,\text{cm}$ پایین می‌آید، سرعت هر یک از وزنه‌ها را به‌دست آورید. از جرم نخ، قرقره‌ها و اصطکاک صرف‌نظر می‌شود.

Sanatisharif.ir

مثال ۲۸

جسم A به جرم $100g$ و سرعت $5\frac{m}{s}$ مطابق شکل، به جسم ساکن B به جرم $400g$ برخورد می‌کند و با سرعت $3\frac{m}{s}$ بر می‌گردد. انرژی تلف شده در برخورد ناچیز است. سرعت جسم B پس از برخورد چه‌قدر است؟

مثال ۲۹



مطابق شکل دو جرم m و M توسط فنری به هم متّصل‌اند و بر سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. دو جرم را به اندازه‌ی $30cm$ به هم نزدیک کرده و رها می‌کنیم. از این لحظه تا هنگامی‌که فاصله‌ی دو جرم $10cm$ افزایش می‌یابد، انرژی جنبشی مجموع دو جرم چه‌قدر تغییر می‌کند؟

مثال ۳۰

در شکل، دستگاه از حال سکون رها می‌شود. هنگامی‌که وزنه‌ی ۳ کیلوگرمی به اندازه‌ی $20cm$ جابه‌جا می‌شود، سرعت هر وزنه چه‌قدر است؟ از جرم نخ، قرقره‌ها و اصطکاک صرف‌نظر می‌شود.

$m_1 = 3kg \;\; ; \;\; m_2 = 4kg$

Sanatisharif.ir

۴-۵. توان

طبق تعریف، آهنگ مبادله‌ی انرژی یا انجام کار را توان مبادله‌ی انرژی یا انجام کار می‌نامند و آن را با P نمایش می‌دهند. بنابراین اگر انرژی ΔE در مدّت زمان مصرف یا تولید شود یا کاری توسط نیروی F در این مدّت انجام شود، آهنگ متوسط مصرف انرژی یا انجام کار از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{P}=\frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \text{یا} \quad \bar{P}=\frac{W}{\Delta t} \qquad (۱۳-۴)$$

یکای توان در SI، ژول بر ثانیه است که آن را وات (W) می‌نامیم.

نکته: برای تعیین آهنگ لحظه‌ای مبادله‌ی انرژی یا انجام کار، با توجه به رابطه‌ی ۴-۱۲ و تعریف مشتق، می‌توان نوشت:

$$P=\frac{dE}{dt} \quad \text{یا} \quad P=\frac{dW}{dt} \qquad (۱۴-۴)$$

مثال ۲۸

چه مدّت طول می‌کشد تا آسانسوری به جرم ۱ تُن، تعداد ۱۰ مسافر را تا ارتفاع ۸۰ متری بالا ببرد؟ توان موتور این آسانسور $۱۰\,\text{kW}$ و جرم متوسط هر مسافر $۸۰\,\text{kg}$ است.

مثال ۲۹

یک پمپ ۵ کیلوواتی آب قادر است در هر دقیقه ۳۰۰ لیتر آب را از عمق ۲۰ متری چاه خارج کرده و با سرعت $۱۰\frac{\text{m}}{\text{s}}$ روی سطح زمین به جریان بیندازد. بازده این پمپ چند درصد است؟

نکته: با توجه به رابطه‌های ۴-۱۲ و ۴-۱۳، توان انجام کار توسط نیروی ثابت F، هنگامی‌که جسم با سرعت $\bar{v}$ در حرکت است، از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{P}=\vec{F}.\vec{v} \quad \text{یا} \quad P=\vec{F}.\vec{v} \qquad (۱۵-۴)$$

زیرا:

$$P=\frac{dW}{dt}=\frac{d}{dt}(\vec{F}.\vec{x})=\vec{F}.\frac{d}{dt}(\vec{x})=\vec{F}.\vec{v}$$

Sanatisharif.ir

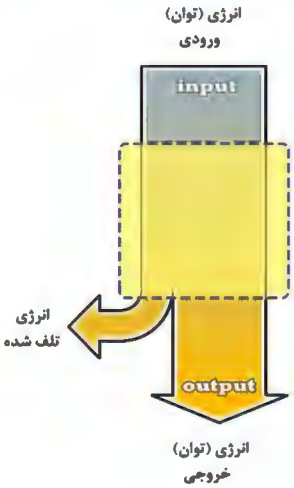
مثال ۳۰

کامیونی به جرم ۱۰ تن با سرعت ثابت $۹۰\frac{km}{h}$ از سطح شیب‌داری با زاویه‌ی شیب α بالا می‌رود. اگر نیروی اصطکاک به اندازه‌ی ۵ درصد وزن کامیون باشد، توان نیروی جلوبرنده‌ی کامیون چند کیلو وات است؟

$\sin\alpha = ۰/۰۵$

نکته: معمولاً بخشی از انرژی که به یک دستگاه داده می‌شود، در اثر اصطکاک یا ... به انرژی مفید تبدیل نمی‌شود و اصطلاحاً تلف می‌گردد. در این‌صورت می‌گوییم بازده یا راندمان دستگاه، کامل نیست و می‌توان نوشت:

$$Ra = \frac{E_{\text{مفید (خروجی)}}}{E_{\text{کل (ورودی)}}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \qquad (۱۶-۴)$$



شکل ۴-۹: همواره بخشی از انرژی داده شده به دستگاه، تلف می‌شود.

مثال ۳۱

مصرف بنزین خودرویی که با سرعت $۹۰\frac{km}{h}$ حرکت می‌کند، در هر ۱۰۰ km، ۶ لیتر و انرژی شیمیایی موجود در هر لیتر بنزین $۳/۵\times۱۰^{۴}$ kJ است. ۶۵ درصد از انرژی ناشی از سوخت بنزین در این خودرو از طریق اگزوز و دستگاه خنک کننده‌ی 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) توان مفید خودرو چقدر است؟

ب) یکای رایج برای توان خودرو، اسب بخار (hp) و هر اسب بخار تقریبا ۷۵۰ وات است. توان مفید این خودرو چند اسب بخار است؟

Sanatisharif.ir

۴-۶. انرژی و شما!

انرژی شیمیایی ذخیره شده: در هر گرم از غذایی که می‌خوریم یا سوختی که در ماشین می‌ریزیم، مقداری انرژی شیمیایی ذخیره شده است. این انرژی را که معمولاً با یکای $\frac{kJ}{g}$ بیان می‌شود را با نماد e نشان می‌دهیم.

آهنگ مصرف انرژی: مقدار انرژی مصرف شده در طی یک فعالیت، در یک زمان معین را آهنگ مصرفی انرژی یا توان مصرفی در آن فعالیت می‌نامند و آن را معمولاً برحسب یکای $\frac{kJ}{min}$ بیان می‌کنند.

نکته: اگر بخشی از انرژی شیمیایی آزاد شده در اثر مصرف مواد غذایی یا سوزاندن سوخت، صرف انجام یک یا چند فعالیت شود، در اینصورت می‌توان نوشت:

$$Ra = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \cdots}{m_1 e_1 + m_2 e_2 + \cdots} \qquad (۴-۱۷)$$

در این رابطه، P، آهنگ مصرف انرژی برحسب $\frac{kJ}{min}$، t، زمان انجام فعالیت برحسب دقیقه (min)، e، انرژی شیمیایی ذخیره شده در ماده برحسب $\frac{kJ}{g}$ و m جرم ماده استفاده شده برحسب گرم (g) است.

مثال ۳۲

گفته می‌شود: « با خوردن یک عدد شیرینی خامه‌ای ۵۰ گرمی، باید حدود $1/5\ km$ را با سرعت $۲\frac{m}{s}$ پیاده‌روی کنید تا دچار اضافه وزن نشوید.» صحت این عبارت را بررسی کنید. (آهنگ مصرف انرژی هنگام پیاده روی، $۱۶\frac{kJ}{min}$ و انرژی شیمیایی موجود در شیرینی خامه‌ای $۴\frac{kJ}{g}$ است.)

مثال ۳۳

انرژی شیمیایی موجود در باروت، $۱۰۰\frac{kJ}{g}$ است. هنگام شلیک گلوله، جرم مواد انفجاری موجود در پوکه‌ی گلوله، $۲۰\ g$ و جرم گلوله $۵۰\ g$ است. اگر ۱۰٪ از انرژی حاصل از انفجار، سبب افزایش انرژی جنبشی گلوله شود، سرعت گلوله هنگام خروج از لوله‌ی تفنگ چند کیلومتر بر ساعت است؟

Sanatisharif.ir

۴-۷. منابع انرژی

در یک تقسیم بندی کلی، منابع انرژی را می‌توان به دو گروه منابع انرژی تجدید ناپذیر و تجدید پذیر تقسیم کرد:

۱) **منابع تجدید ناپذیر:** این منابع، تنها یک بار قابلیت مصرف دارند، منابع آنها محدود است و پس از مدتی تمام می‌شود. دو نوع از این سوخت‌ها عبارتند از:

- **سوخت‌های فسیلی:** از این مواد می‌توان در صنایع پالایش و پتروشیمی موادی مانند قطران (از ذغال‌سنگ)، بنزین، نفت سفید، نفت گاز، روغن موتور، رنگ، کود شیمیایی، دارو، پلاستیک و غذا به دست آورد.

مهم‌ترین مشکل سوخت‌های فسیلی آلوده کردن محیط زیست ناشی از تولید گازهای مضر مانند و است که باعث گرم شدن زمین می‌شود. علاوه بر این مقدار این سوخت‌ها محدود است و در چند دهه‌ی آینده تمام می‌شود.

- **سوخت‌های هسته‌ای:**

i. بر اثر شکسته شدن هسته‌ی برخی اتم‌های سنگین مانند اورانیم و توریم انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود. این واکنش را شکافت هسته‌ای می‌نامند.

ii. بر اثر جوش خوردن هسته‌ی اتم‌های سبک مانند هیدروژن و تشکیل هسته‌های اندکی سنگین‌تر چون هلیم، انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود. این واکنش که همجوشی هسته‌ای نامیده می‌شود، همان واکنشی است که در ستارگان و خورشید صورت می‌گیرد.

۲) **منابع انرژی تجدید پذیر:** این منابع تمام نمی‌شوند و معمولاً آلودگی به وجود نمی‌آورند. برخی از این منابع عبارتند از:

- **انرژی خورشیدی:** استفاده از انرژی خورشیدی به سه صورت رخ می‌دهد:

i. صفحه‌های خورشیدی

ii. کوره‌ی خورشیدی

iii. سلول‌های خورشیدی

الف ب پ

شکل ۴-۱۰: الف) صفحه‌ی خورشیدی. ب) کوره‌ی خورشیدی. پ) سلول خورشیدی.

- **انرژی باد:** بیشترین منابع انرژی باد در نواحی ساحلی و کوهستانی واقع شده‌اند. از مزایای بهره‌برداری از انرژی باد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

i. عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت‌های فسیلی.

sanatisharif.ir

ii. رایگان بودن انرژی باد.

iii. کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد، نسبت به انرژی‌های فسیلی.

iv. عدم نیاز به آب.

v. کم بودن آلودگی زیست محیطی آن نسبت به سوخت‌های فسیلی.

- **انرژی امواج دریا:** استفاده از افت و خیز امواج دریا برای ساکنان جزیره‌ها.
- **انرژی برق‌آبی (هیدروالکتریک):** در مناطقی که بارش سالانه‌ی آب زیاد است، با ساخت سد و احداث دریاچه‌های مصنوعی آب را ذخیره و از انرژی آن برای چرخش توربین و ایجاد جریان الکتریکی استفاده می‌شود.

نیروگاه‌های برق‌آبی از منبع انرژی‌ای استفاده می‌کنند که در صورت مصرف نشدن، هدر می‌رود. علاوه بر آن موجب آلودگی محیط زیست نمی‌شوند.

مثال ۳۴

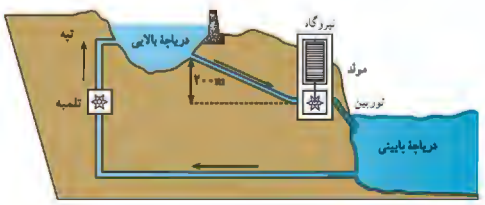
در یک نیروگاه برق‌آبی، آب دریاچه‌ی پشت سد بالایی، حدود ۳۰۰ متر بالاتر از توربین در دریاچه‌ی پایینی قرار دارد.

الف) سرعت برخورد آب با توربین تقریبا چقدر است؟

ب) اگر در هر دقیقه ۳۰ تن آب به مجموعه‌ی توربین‌ها برخورد کند و بازده توربین‌ها را ۵۰٪ فرض کنیم، توان این نیروگاه چند مگاوات است؟

مثال ۳۵

در یک شبکه‌ی برق مصرف انرژی در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز متفاوت است. نیروگاه‌های تلمبه ـ ذخیره‌ای وظیفه‌ی انتقال مقادیر انرژی اضافیِ تولید شده در زمان مصرف کم را بر عهده دارند. این کار از طریق تلمبه‌ی آب ذخیره شده از سد پایین دست به سد بالادست در زمان مصرف کم، میسر است. در طول ساعات روز، زمانی که نیاز مصرف بسیار بیشتر از توان تولید نیروگاه‌های شبکه است، توربین‌های نیروگاه تلمبه ـ ذخیره‌ای مانند نیروگاه‌های معمولی برق‌آبی کار می‌کند.



الف) چرا این نیروگاه برای شرکت‌های برق مفید است؟

ب) انرژی لازم برای تلمبه کردن دوباره‌ی آب به دریاچه‌ی بالایی از کجا تأمین می‌شود؟

Sanatisharif.ir

- **انرژی زمین‌گرمایی:** انرژی زمین‌گرمایی به گرمای موجود در زیر سطح کره‌ی زمین گفته می‌شود.

انرژی زمین‌گرمایی در صورتی تجدیدپذیر محسوب می‌شود که انرژی برداشت شده، بیش از انرژی‌ای که از طریق مرکز زمین جایگزین می‌شود، نباشد و همچنین مقدار آب تزریق شده و آب خارج شده برابر باشد.

- **زیست توده (بیومس):** زیست توده، همه‌ی اجزای قابل تجزیه‌ی زیستی از محصولات و زایدات کشاورزی، صنایع جنگلی، فاضلاب‌های شهری و ... است. انرژی زیست‌توده، بعد از انرژی خورشیدی بالاترین پتانسیل انرژی را دارد. محصول نهایی حاصل از فرایند شکسته شدن مولکول‌های سنگین به مولکول‌های ساده، گازی قابل اشتعال به نام بیوگاز است.
- **هیدروژن:** هیدروژن به عنوان یک واسطه عمل می‌کند که انرژی را از منابع انرژی نو یا منابع انرژی فسیلی می‌گیرد و به محل مصرف می‌رساند. در محل مصرف، می‌توان هیدروژن را به عنوان سوخت در موتورهای احتراق داخلی سوزاند، یا از آن در پیل‌های سوختی استفاده کرد.

پیل‌های سوختی و موتورهای احتراقی که هیدروژن مصرف می‌کنند، آلاینده‌ی شیمیایی و آلودگی زیست محیطی ندارند، بنابراین هیدروژن را یک حامل انرژی پاک می‌نامند.

Sanatisharif.ir