خودآموز فصل ۳ فیزیک دهم

رشته های ریاضی و تجربی

سال: ۱۴۰۳

تهیه و تنظیم: دکتر احسان احمدی نژاد

https://t.me/phyzilandgroup

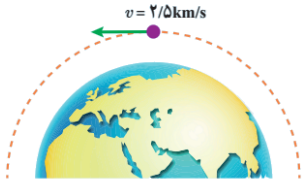
بخش اول:

پاسخنامه تشریحی تمارین، پرسش ها

و فعالیت های متن کتاب

تمرین ۳ ـ ۱

ماهواره‌ای به جرم ۲۲۰kg، با تندی ثابت ۲/۵km/s دور زمین می‌چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را برحسب ژول و مگاژول حساب کنید.



$m = 220\ kg$

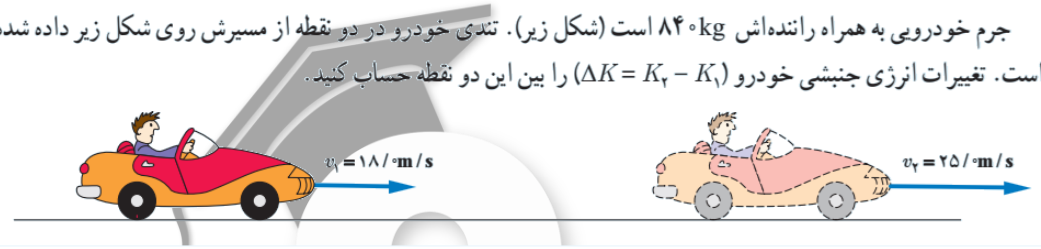
$v = 2.5\dfrac{km}{s}$

$= 2.5 \times 10^3 m/s$

$$k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 220 \times (2.5 \times 10^3)^2 = 110 \times 6.25 \times 10^6\ J = 687.5 \times 10^6 J = 687.5\ \text{MJ}$$

تمرین ۳ ـ ۲

جرم خودرویی به همراه راننده‌اش ۸۴۰kg است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو ($\Delta K = K_2 - K_1$) را بین این دو نقطه حساب کنید.

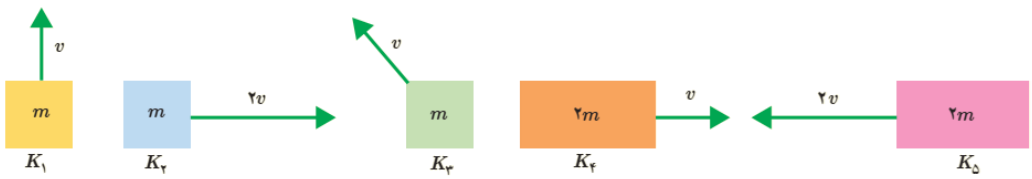


$m = 840\ kg$

$$\Delta k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 840 \times (25^2 - 18^2) = 420 \times (625 - 324) = 126420\ \text{J}$$
$$= 1.3 \times 10^5\ J$$

پرسش ۳ ـ ۱

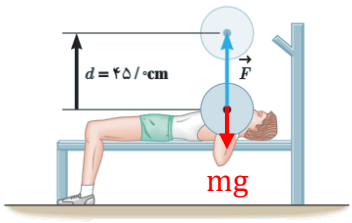
انرژی جنبشی هر یک از اجسام زیر را با هم مقایسه کنید و مقدار آن را به ترتیب از کمترین تا بیشترین بنویسید.



$$K = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow k_1 = \frac{1}{2}mv^2, k_2 = 4 \times \frac{1}{2}mv^2, k_3 = \frac{1}{2}mv^2, k_4 = 2 \times \frac{1}{2}mv^2, k_5 = 8 \times \frac{1}{2}mv^2$$

$$\rightarrow k_5 > k_2 > k_4 > k_1 = k_3$$

تمرین ۳ ـ ۳



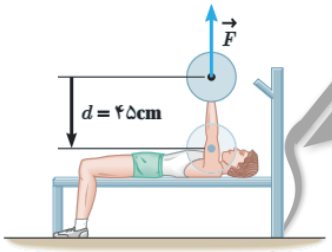
ورزشکاری وزنه‌ای به جرم ۶۵kg را به طور یکنواخت، ۴۵cm بالای سر خود می‌برد (شکل روبه رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازهٔ شتاب گرانش زمین را $g = 9/8N/kg$ بگیرید.

برای بلند کردن وزنه با سرعت یکنواخت، نیرویی برابر وزن آن باید وارد کرد(F=mg)، پس:

$$w = Fd\cos\theta \xrightarrow{\theta=90} w = Fd = mgd = 65 \times 0.45 \times 9.8 = 286.65\,J$$

از آنجا که علامت کار مثبت است، به این معنی است که شخص بر روی وزنه کار مثبت انجام داده است.

تمرین ۳ ـ ۴



تمرین ۳ـ۳ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی $\vec{F}$ ، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل روبه رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین مقادیر به دست آمده برای کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

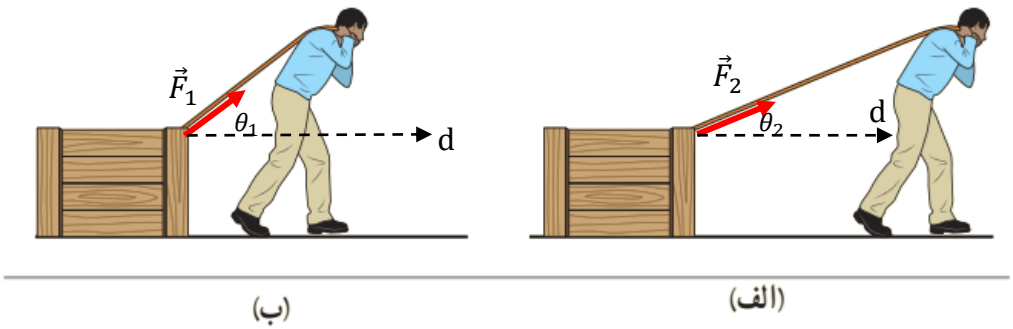
در این حالت جهت نیرو به سمت بالا بوده در حالی که جابجایی به سمت پایین است، یعنی زاویه ۱۸۰ درجه می شود:

$$w = Fd\cos 180 = -Fd = -mgd = -65 \times 0.45 \times 9.8 = -286.65\,J$$

از آنجا که علامت کار منفی است، به این معنی است که شخص بر روی وزنه کار منفی انجام داده است.

پرسش ۳ ـ ۲

شخصی جسمی را یک بار با طنابی بلند (شکل الف) و بار دیگر با طنابی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطحی هموار می‌کشد. اگر جابه جایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، ناچیز فرض کنید.



$$w = Fd\cos\theta \xrightarrow{w_1=w_2} \rightarrow F_1 d\cos\theta_1 = F_2 d\cos\theta_2 \rightarrow F_1\cos\theta_1 = F_2\cos\theta_2$$

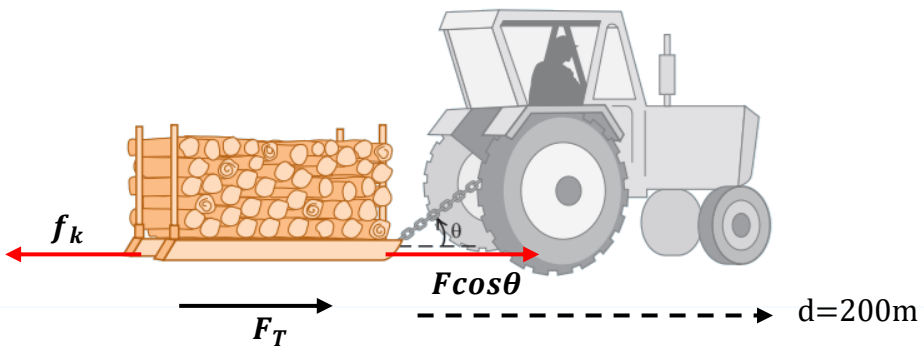
$$\theta_1 > \theta_2 \rightarrow \cos\theta_1 < \cos\theta_2$$

از آنجا که زاویه θ_1 از θ_2 بیشتر است، لذا مقدار کسینوس θ_2 از θ_1 بیشتر خواهد بود (به نمودار کسینوس دقت کنید). پس برای برابر بودن معادله بالا، لازم است نیروی ۱ از ۲ بیشتر باشد.

نتیجه کلی: اگر جهت نیروی وارد شده به یک جسم با افق هم راستا باشد، به نیروی کمتری برای جابجایی آن نیاز خواهد بود.

تمرین ۳ ـ ۵

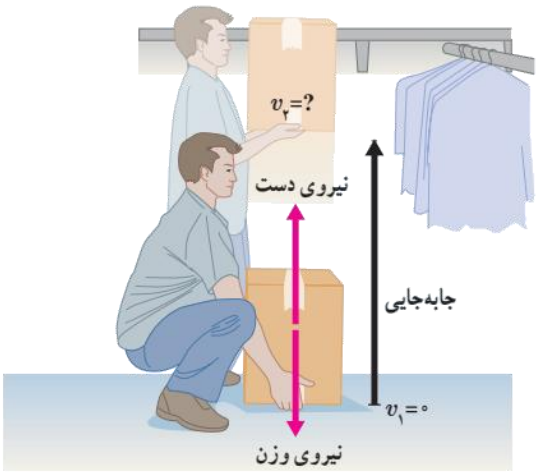
کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از قطعه‌های چوبی برش داده شده برای کارخانه را روی سطح افقی و در مسیر مستقیم به اندازهٔ ۲۰۰m جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن ۱۵۰۰۰N است. تراکتور نیروی ثابت $F = ۵۵۰۰\text{N}$ را در زاویهٔ $\theta = ۴۵^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = ۳۵۰۰\text{N}$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید.



$$F_T = F\cos\theta - f_k = 5500 \times \cos 45 - 3500 = 5500 \times 0.7 - 3500 = 389.1\ N$$

$$w_T = F_T d = 389.1 \times 200 = 77820 = 77.8\ \text{kJ}$$

تمرین ۳ ـ ۶



شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت ۱۵۰N، جعبه ای به جرم ۱۰kg را از حال سکون در امتداد قائم جابه جا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m به‌طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع ۱/۵m چقدر است؟

پ) با استفاده از قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع ۱/۵m حساب کنید.

الف)

$$w_{\text{شخص}} = Fd\cos 0 = 150 \times 1.5 = 225\ J$$
$$w_{\text{وزن}} = mgd\cos 180 = -100 \times 1.5 = -150\ J$$

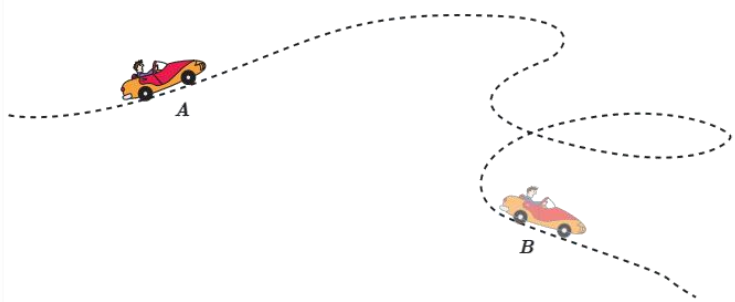
ب)

$$w_{\text{کل}} = w_{\text{شخص}} + w_{\text{وزن}} = 225 - 150 = 75\ J$$

پ) انرژی جنبشی اولیه برابر صفر است:

$$w = k_2 - k_1 = k_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow v_2^2 = \frac{2w}{m} \rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2w}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 75}{10}} \cong 3.9\ m/s$$

تمرین ۳ ـ ۷

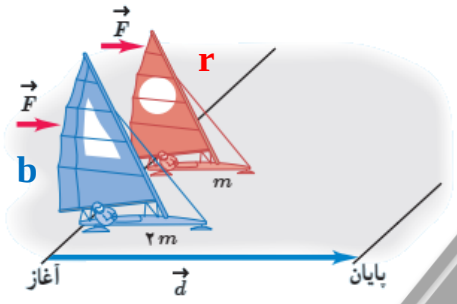


جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش ۸۴۰kg است. وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می‌رود، کار کُل انجام شده روی خودرو ۷۳۵۰۰J است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر ۵۴/۰km/h باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

طبق قضیه کار- انرژی جنبشی:

$$w = \Delta k = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 \rightarrow v_B^2 = \frac{2w}{m} + v_A^2 = \frac{2 \times 73500}{840} + \left(\frac{54km}{h} \times \frac{1000m}{1km} \times \frac{1h}{3600s}\right)^2$$
$$= 175 + 225 = 400 \rightarrow v_B = 20\ \text{m/s}$$

تمرین ۳ ـ ۸



دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخ‌زده[۱]، دارای جرم‌های m و $۲m$، روی دریاچهٔ افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان $\vec{F}$ با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هردو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و پس از جابه‌جایی $\vec{d}$، از خط پایان می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.

به دلیل اینکه نیروی یکسانی به هر دو قایق وارد می شود و جابجایی ها نیز یکسان است، لذا کار انجام شده بر روی هر دو با هم برابر خواهد بود:

$$m_r = m, m_b = 2m$$

$$w = Fd \rightarrow w_b = w_r$$

$$w = \Delta k = k_2 - k_1 \xrightarrow{v_1=0} w = k_2 - 0 = k_2 = k \rightarrow \boldsymbol{w = k}$$

$$k_b = \frac{1}{2}m_b v_b^2 = mv_b^2 \rightarrow \boldsymbol{w_b = mv_b^2}$$

$$k_r = \frac{1}{2}m_r v_r^2 \rightarrow \boldsymbol{w_r = \frac{1}{2}mv_r^2}$$

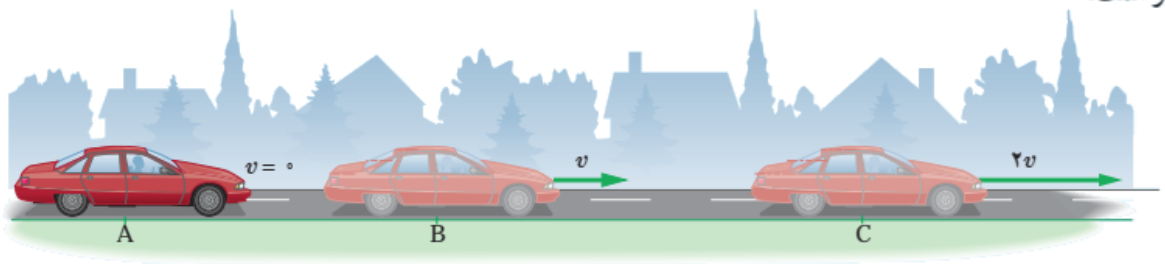
$$\boldsymbol{w_b = w_r} \rightarrow mv_b^2 = \frac{1}{2}mv_r^2 \rightarrow v_r^2 = 2v_b^2 \rightarrow \boldsymbol{v_r = \sqrt{2}v_b} \rightarrow \frac{v_r}{v_b} = \sqrt{2}$$

$$k_r = \boldsymbol{\frac{1}{2}mv_r^2} = \frac{1}{2}m \times 2v_b^2 = mv_b^2 = \boldsymbol{k_b} \rightarrow k_r = k_b$$

پس انرژی جنبشی دو قایق با هم برابر است.

تمرین ۳ــ۹

برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون در نقطهٔ A به v در نقطهٔ B برسد، باید کار کل W_{1t} روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از v در نقطهٔ B به $2v$ در نقطهٔ C برسد، باید کار کل W_{2t} روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت W_{1t}/W_{2t} چقدر است؟



طبق قضیه کار- انرژی جنبشی:

$k_A = 0$

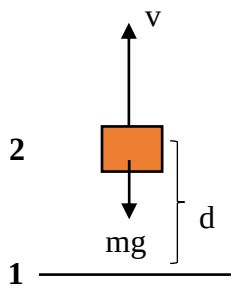
$v_B = v$

$v_C = 2v$

$$\frac{w_{1t}}{w_{2t}} = \frac{k_B - k_A}{k_C - k_B} = \frac{\frac{1}{2}mv_B^2 - 0}{\frac{1}{2}mv_C^2 - 12\,mv_B^2} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}m(4v^2 - v^2)} = \frac{1}{3}$$

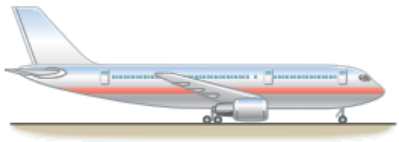
تمرین ۳ــ۱۰

برای جسمی به جرم m که رو به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطهٔ ۳ــ۶ به دست می‌آید. فرض کنید که جسم به اندازهٔ کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه‌ای که وزن آن ثابت باشد.



$$w = \mathrm{Fd}\cos\theta = mgh\cos(180) = -mgh \rightarrow w = -(mgh - 0)$$
$$= -(U_2 - U_1) = -\Delta U$$

تمرین ۳ ـ ۱۱



انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم $۷/۵۰ \times ۱۰^{۴}\text{kg}$ که با تندی ۸۶۴km/h در ارتفاع $۹/۶۰ \times ۱۰^{۳}\text{m}$ حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

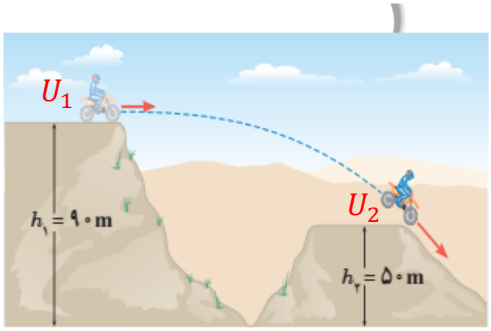
$$k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7.5 \times 10^4 \times \left(864 \times \frac{1000}{3600} m/s\right)^2 = 3.75 \times 57600 \times 10^4 = 216 \times 10^7\ J$$

$$U = mgh = 7.5 \times 10^4 \times 10 \times 9.6 \times 10^3 = 720 \times 10^7\ J$$

$$\frac{U}{k} = \frac{720 \times 10^7}{216 \times 10^7} \cong 3.3$$

مقدار انرژی پتانسیل هواپیما از انرژی جنبشی آن بیشتر است.

تمرین ۳ ـ ۱۲



جرم موتور سواری با موتورش ۱۵۰kg است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.

الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتور سوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = ۹/۸\text{m/s}^2$).

ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جابه‌جایی به دست آورید.

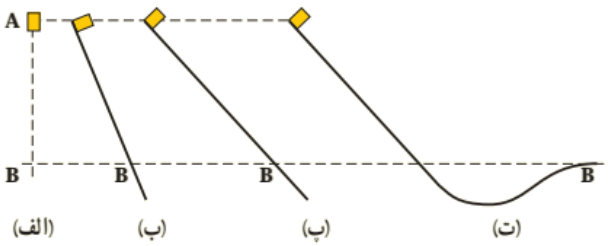
$$U_1 = mgh_1 150 \times 9.8 \times 90 \cong 1.3 \times 10^5\ J$$

$$U_2 = mgh_2 = 150 \times 9.8 \times 50 \cong 7.4 \times 10^4\ \text{J}$$

$$w = -\Delta U = -(U_2 - U_1) = -(7.4 \times 10^4 - 1.3 \times 10^5) = 5.6 \times 10^4\ J = 56\ KJ$$

به دلیل اینکه جابجایی به سمت پایین بوده، کار نیروی وزن مثبت است.

پرسش ۳ـ۲



شکل روبه‌رو، چهار وضعیت متفاوت را برای حرکت جسمی نشان می‌دهد. در وضعیت الف، جسم از حال سکون سقوط می‌کند و در سه وضعیت دیگر جسم از حال سکون روی مسیری بدون اصطکاک و رو به پایین حرکت می‌کند. تندی جسم را در نقطهٔ B برای هر چهار وضعیت با هم مقایسه کنید.

چنانچه نیروی اصطکاک وجود نداشته باشد، با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی نتیجه گرفته می شود که سرعت نهایی به مسیر حرکت وابسته نیست.

$$K_A + U_A = K_B + U_B \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{2gh}$$

تمرین ۳ـ۱۳

در مثال ۳ـ۱۱، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع h_1 بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانهٔ سبد حساب کنید.

$$k_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mg(h_2 - h_1) \rightarrow v_1^2 - 2g(h_2 - h_1) = v_2^2$$

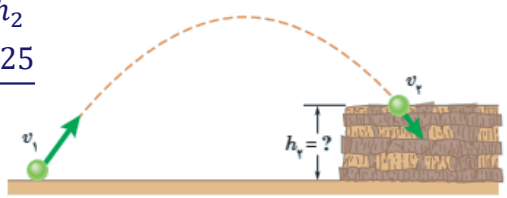
$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2g(h_2 - h_1)} = \sqrt{49 - 2 \times 9.8 \times 1} = \sqrt{29.4} \cong 5.4\ m/s$$

تغییر مبدأ انرژی پتانسیل در محاسبات تاثیری ندارد.

تمرین ۳ـ۱۴

توپی مطابق شکل از سطح زمین با تندی $v_1 = 40\ m/s$ به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود.
اگر توپ با تندی $v_2 = 25 m/s$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع h_2 را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

$$E_1 = E_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$
$$\rightarrow h_2 = \frac{1}{2g}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1600 - 625}{19.6}$$
$$\cong 49.7\ m$$



پرسش ۳ــ۴

شخصی توپ در حال حرکتی را با دست خود می‌گیرد (شکل روبه‌رو). پس از توقف توپ، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟

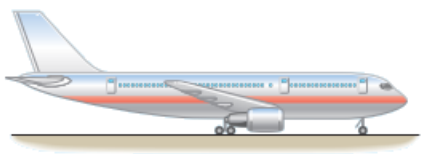
انرژی جنبشی به انرژی درونی دست و توپ تبدیل شده است.

تمرین ۳ــ۱۵

توپی به جرم ۰/۴۵kg با تندی $v_1 = 8/0\,m/s$ از نقطهٔ A می‌گذرد (شکل روبه‌رو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توپ با زمین، ۲۰ درصد انرژی جنبشی اولیهٔ توپ را تا رسیدن به نقطهٔ B تلف می‌کنند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

$$E_B = E_A - 0.2E_A = 0.8E_A \rightarrow k_B = 0.8k_A \rightarrow v_B^2 = 0.8v_A^2 \rightarrow v_B \cong 7.1\ m/s$$

تمرین ۳ــ۱۶



هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری، پیشرانه‌ای (نیروی جلوبر هواپیما) برابر $2/0 \times 10^5 N$ ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه ۱۵km در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

$$P = \frac{w}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{2 \times 10^5 \times 15 \times 10^3}{60} = \frac{1}{2} \times 10^8 = 5 \times 10^7\ w \times \frac{1hp}{746w} \cong 6.7 \times 10^4\ hp$$

تمرین ۳ ـ ۱۷

آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از مسیری مطابق شکل روی پره های توربینی می‌ریزد و آن را می‌چرخاند. با چرخش توربین، مولد می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود (شکل روبه رو). اگر ۸۵ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، درهر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به ۲۰۰MW برسد؟ جرم هر متر مکعب آب را ۱۰۰۰kg در نظر بگیرید.

$$P=\frac{w}{t}=\frac{0.85mgh}{1}\rightarrow m=\frac{200\times10^{6}}{8.5\times90}\cong261.4\times10^{3}\ kg\rightarrow V=\frac{m}{\rho}=\frac{261.4\times10^{3}}{1000}=261.4\ m^{3}$$

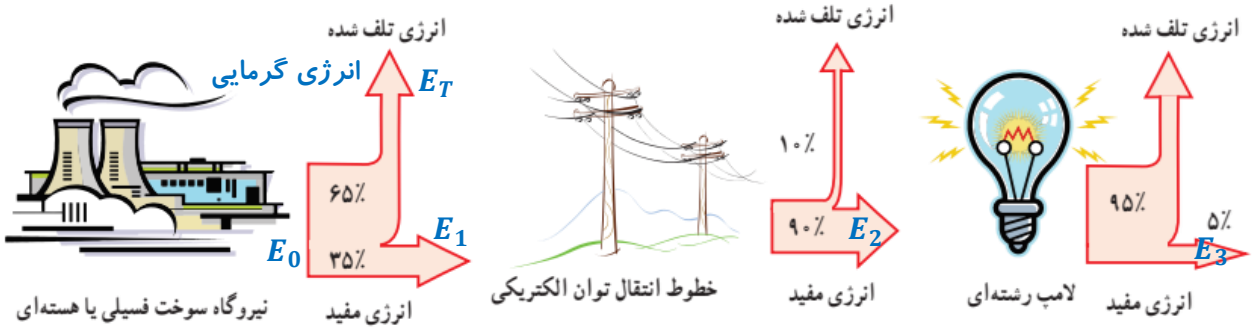
فعالیت ۳ـ۱

شکل زیر طرح واره‌ای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف شده در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته‌ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته‌ای نشان می‌دهد.

الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل حدود ۳۵ مگاژول انرژی گرمایی تولید می‌شود. برای اینکه یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ واتی در طول یک ماه به مدت ۱۸۰ ساعت روشن بماند (به‌طور میانگین هر شبانه روز ۶ ساعت)، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟

ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هشدار معروف «لامپ اضافی خاموش!» را بیان کنید.

پ) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه، معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، صرفه‌جویی کند، مقدار گازوئیل صرفه‌جویی شده را محاسبه کنید.



الف) ابتدا به کمک توان لامپ، میزان انرژی مصرفی لامپ را محاسبه می کنیم. انرژی مصرفی لامپ همان انرژی ورودی آن یعنی E_2 است:

انرژی مصرفی لامپ $P=\frac{E}{t}\rightarrow E=Pt=100\times180\times3600=6.48\times10^{7}\ J=64.8\ MJ=E_2$

حال به کمک روابط مربوط به بازده، میزان انرژی خروجی نیروگاه جهت روشن ماندن (E_0) لامپ در یک ماه را محاسبه می کنیم:

$$E_2 = 0.9E_1 = 0.9 \times 0.35E_0 = 0.315E_0 \rightarrow E_0 = \frac{E_2}{0.315} = \frac{64.8}{0.315} = 205.7\ MJ$$

پس برای روشن ماندن لامپ ۱۰۰ واتی در یک ماه مقدار E_0 انرژی از نیروگاه لازم است. حال میزان گازوییلی که نیروگاه باید مصرف کند تا این مقدار انرژی تولید کند را حساب می کنیم: طبق گفته سوال، با سوختن هر لیتر گازوییل ۳۵ مگاژول انرژی گرمایی تولید می کند. حال میزان انرژی مفید به ازای یک لیتر گازوییل را محاسبه می کنیم:

$$\left.\begin{matrix} E_T = 0.65E_0 \\ E_1 = 0.35E_0 \end{matrix}\right\} \rightarrow \frac{E_T}{E_1} \cong 1.86 \rightarrow E_1 = \frac{E_T}{1.86} \xrightarrow{E_T = 35\frac{MJ}{L}} = \frac{35}{1.86} \cong 18.8\ MJ/L$$

پس نیروگاه اگر یک لیتر گازوییل مصرف کند، ۱۸.۸ مگاژول انرژی تولید می کند.

میزان گازوییل مصرفی برای روشن ماندن لامپ در یک ماه

$$205.7MJ \times \frac{1L}{18.8\ MJ} \cong 10.9L$$

بخش دوم:

پاسخنامه مسائل پایان فصل

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جوّ زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهندهٔ جوّ، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم $۱/۴ \times ۱۰^{۵}\text{kg}$ را نشان می‌دهد که با تندی $۴/۰\text{km/s}$ وارد جوّ زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم $۷/۲ \times ۱۰^{۴}\text{kg}$ که با تندی ۲۵۰m/s در حرکت است مقایسه کنید.

$$v_m = 4\frac{km}{s}$$
$$M_m = 1.4 \times 10^5 kg$$
$$v_a = 250\frac{m}{s}$$
$$M_a = 7.2 \times 10^4 kg$$

اندیس m مربوط به شهاب سنگ و اندیس a مربوط به هواپیما است.

$$k_m = \frac{1}{2}M_m v_m^2 = \frac{1}{2} \times 1.4 \times 10^5 \times 16 \times 10^6 = 11.2 \times 10^{11}\ j$$

$$k_a = \frac{1}{2}M_a v_a^2 = \frac{1}{2} \times 7.2 \times 10^4 \times 62500 = 22.5 \times 10^8\ j$$

$$\frac{k_m}{k_a} = \frac{11.2 \times 10^{11}}{22.5 \times 10^8} \cong 498$$

انرژی جنبشی شهاب سنگ ۴۹۸ برابر انرژی جنبشی هواپیما است.

۲ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی در نزدیک آریزونای آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل زیر). با اندازه‌گیری‌های جدید (۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود $۱/۴۰ \times ۱۰^{۸}\text{kg}$ بوده و با تندی $۱۲/۰\text{km/s}$ به زمین برخورد کرده است.

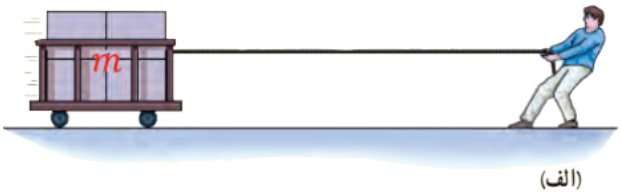
انرژی جنبشی این شهاب سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟

(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تُن TNT تقریباً برابر $۴/۲ \times ۱۰^{۹}\text{J}$ است.)

$$k_m = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1.4 \times 10^8 \times 144 \times 10^6 = 100.8 \times 10^{14}\ j$$

$$\frac{k_m}{k_{TNT}} = \frac{100.8 \times 10^{14}}{4.2 \times 10^9} \cong 2.4 \times 10^6$$

۳ در شکل‌های (الف) و (ب) جرم ارابه‌ها یکسان است. برای اینکه تندی ارابه‌ها از صفر به مقدار معین v برسد، کار انجام شده در هر دو حالت را باهم مقایسه کنید.



(الف)

$$K_1 = 0, K_2 = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow w_a = k_2 - k_1 = \frac{1}{2}mv^2$$

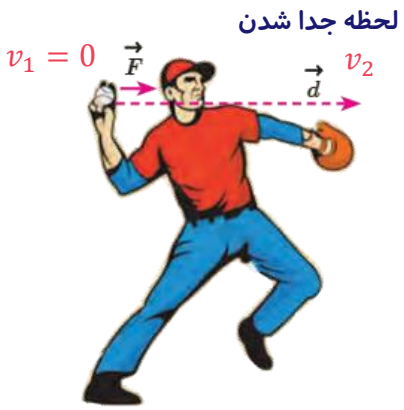
(ب)

$$K_1 = 0, K_2 = \frac{1}{2}(2m)v^2 \rightarrow w_b = k_2 - k_1 = mv^2$$

$$2w_a = w_b$$

در حالت دوم باید کار دوبرابری انجام گیرد.

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم ۱۵۰g را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = ۷۵/۰\text{N}$ تا لحظهٔ پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی $(d = ۱/۵\text{m})$ بر آن وارد می‌کند (شکل زیر). با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟



$$w = k_2 - k_1 \rightarrow Fd = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2Fd}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 75 \times 1.5}{150 \times 10^{-3}}} = \sqrt{1.5 \times 10^3} \cong 38.7\ m/s$$

۵ آیا کار کل انجام شده بر یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید.

مطابق رابطه کار- انرژی جنبشی اگر انرژی جنبشی نهایی جسمی کمتر از حالت اول باشد، کار منفی روی آن صورت گرفته است. مانند خودرویی که ترمز می گیرد یا جسمی که به سمت بالا پرتاب می شود.

$$w = k_2 - k_1 \xrightarrow{k_1 > k_2} w < 0$$

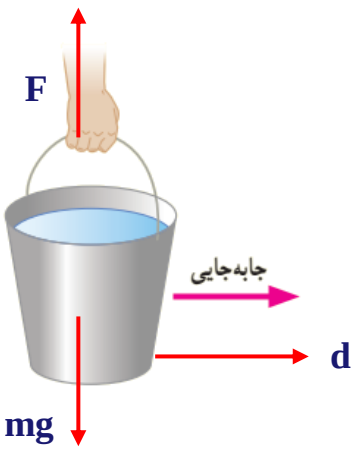
۶ برای آنکه نیروی خالصی، بتواند تندی جسم را از صفر به v برساند باید مقدار کار W را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به $3v$ برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

$$w_1 = k_2 - k_1 = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2}mv^2 = w$$

$$w_2 = \frac{1}{2}m\,(3v)^2 - 0 = 9 \times \frac{1}{2}mv^2 = 9w$$

باید کاری به اندازه 9w روی آن انجام شود.

۷ اگر مطابق شکل زیر سطلی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چطور؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید. از مقاومت هوا در مقابل حرکت سطل، چشم‌پوشی کنید.



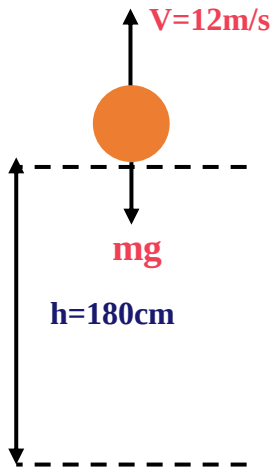
مطابق رابطه کار- انرژی جنبشی اگر انرژی جنبشی جسم تغییر نکند، کار خالصی روی آن انجام نمی شود. از منظر دیگر هم می توان گفت چون جابجایی بر نیرو عمود است، کار صفر می شود.

$$w = Fd\cos\theta \xrightarrow{F \perp d} w = 0$$

$$w = k_2 - k_1 = 0$$

اما اگر تغییرات سرعت داشته باشیم، پس تغییر انرژی جنبشی داریم و دیگر کار برابر صفر نمی شود. از طرفی در این حالت دیگر زاویه نیرو و جابجایی برابر ۹۰ نمی شود.

۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم ۱۵۰g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع ۱۸۰cm از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی ۱۲m/s پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلولهٔ برف چقدر است؟



ابتدا تا ارتفاع ۱۸۰ سانتی کار نیروی وزن را محاسبه می کنیم. کار شخص برابر منفی کار نیروی وزن خواهد بود.

$$w_1 = -(-mgh) = 0.15 \times 10 \times 1.8 = 2.7\,J$$

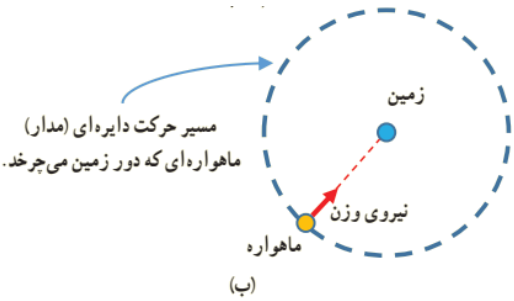
سپس به کمک قضیه کار- انرژی جنبشی، مقدار کار انجام شده از لحظه پرتاب را محاسبه می کنیم:

$$w_2 = k_2 - k_1 = \frac{1}{2} \times 0.15 \times 144 - 0 = 10.8\,\text{J}$$

کار خالص برابر مجموع کار در دو مرحله است:

$$\boldsymbol{w_t} = w_1 + w_2 = 10.8 + 2.7 = 13.5\,\text{J}$$

۹ ماهواره‌ها در مدارهای معین و با تندی ثابتی دور زمین می‌چرخند. حرکت یک ماهواره به دور زمین شکل (الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) مدل‌سازی کرد. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی خالصی (نیروی وزن) همواره بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟



در حرکت ماهواره ها، کار نیروی وزن به دلیل عمود بودن بر مسیر حرکت آن برابر صفر خواهد بود و بنابراین:

$$w = \Delta k = 0 \xrightarrow{k_1=k_2} \rightarrow k = \text{ثابت}$$

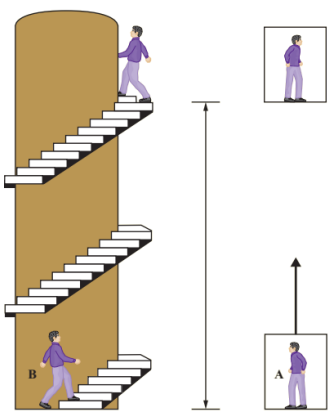
۱۰ آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چطور؟ توضیح دهید.

انرژی جنبشی جسم همواره مثبت است، اما انرژی پتانسیل گرانشی بسته به انتخاب مبدا پتانسیل می تواند منفی یا مثبت واقع شود.

$$k = \frac{1}{2}mv^2, m > 0 \& v^2 > 0 \rightarrow k > 0$$

$$U = mgh, m > 0, g > 0, h >< 0 \rightarrow U > 0 \; or \; U < 0$$

۱۱ دو شخص هم جرم A و B به طبقهٔ سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسان‌بَر (آسانسور) و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.



الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کمتر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.

ب) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا برای رسیدن به طبقهٔ سوم ساختمان مسافت کمتری پیموده است.

پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است.

ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقهٔ سوم ساختمان یکسان است.

الف) نادرست، در این مسئله که جرم دو شخص برابر است، انرژی پتانسیل فقط به ارتفاع بستگی دارد و چون ارتفاع در دو حالت یکسان است، لذا انرژی پتانسیل ها برابر خواهد بود.

ب) نادرست، انرژی پتانسیل فقط به ارتفاع بستگی دارد.

پ) درست، کار نیروی وزن به جابجایی و جرم دو شخص بستگی دارد که در این مسئله برای هر دو حالت یکسان است.

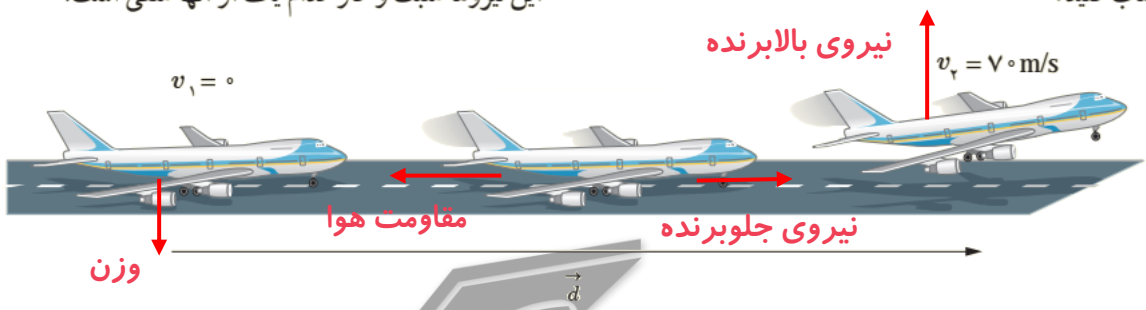
ت) درست، مطابق توضیحات ارائه شده در قسمت الف

۱۲ شکل زیر هواپیمایی به جرم $۷/۲ \times ۱۰^{۴}\text{kg}$ را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از ۲۰۵۰m جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن $v_۲ = ۷۰\text{m/s}$ می‌رسد.

الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابه‌جایی حساب کنید.

ب) یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع ۵۶۰m از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به ۱۴۰m/s می‌رسد. در این‌مدت، کار نیروی وزن چقدر است؟

پ) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند (با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید)؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدام یک از آنها منفی است؟



$$v_1 = 0, v_2 = 70\frac{m}{s}, m = 7.2 \times 10^4 kg, d = 2050\ m$$

الف)

$$w_T = \Delta k = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times 7.2 \times 10^4 \times (4900 - 0) \cong 1.76 \times 10^8\ J$$

ب)

$$w_g = -\Delta U = -mg(h_2 - h_1) = -7.2 \times 10^4 \times 10 \times (560) \cong -4 \times 10^8\ J$$

پ) مطابق شکل کار نیروی جلوبرنده و نیروی بالابرنده مثبت و کار نیروی وزن و مقاومت هوا منفی است.

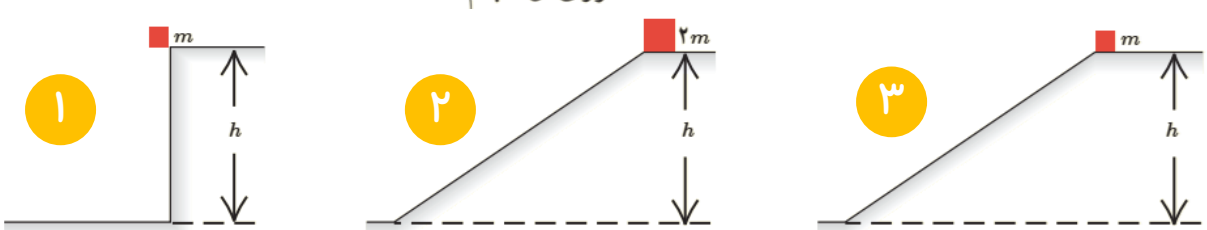
---

۱۳ در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع h نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود.

در کدام حالت، جسم

الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟

ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟



الف) مطابق رابطه فوق، در صورت نبود اصطکاک و مقاومت هوا تندی جسم فقط به ارتفاع بستگی دارد. بنابراین تندی در ۳ حالت یکسان خواهد بود.

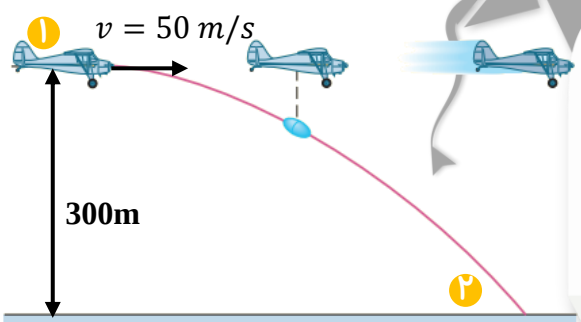
$$E_1 = E_2 \rightarrow k_1 + U_1 = k_2 + U_2 \rightarrow 0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0 \rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

ب) کار نیروی وزن به ارتفاع و جرم وابسته است. بنابراین مطابق رابطه زیر در حالت ۲ بیشتر خواهد بود.

$$1,3:\ w_g = -\Delta U = mgh$$

$$2: w_g = -\Delta U = 2mgh$$

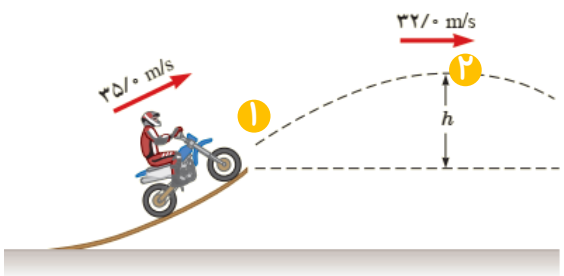
۱۴ در شکل زیر هواپیمایی که در ارتفاع ۳۰۰m از سطح زمین و با تندی ۵۰m/s پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب‌دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم‌پوشی کنید.



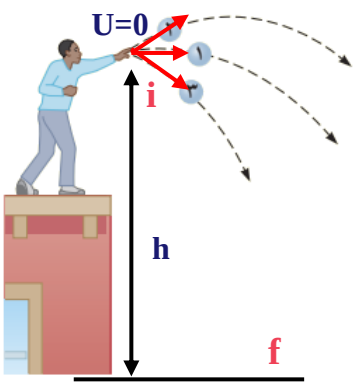
به کمک پایستگی انرژی مکانیکی داریم:

$$E_1 = E_2 \rightarrow k_1 + U_1 = k_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_2^2 + 0 \rightarrow v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2gh}$$
$$= \sqrt{50^2 + 5880} \cong 92.2\ m/s$$

۱۵ موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل زیر، پرشی را با تندی ۳۵/۰m/s انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطهٔ مسیرش به ۳۲/۰m/s برسد، ارتفاع h را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.



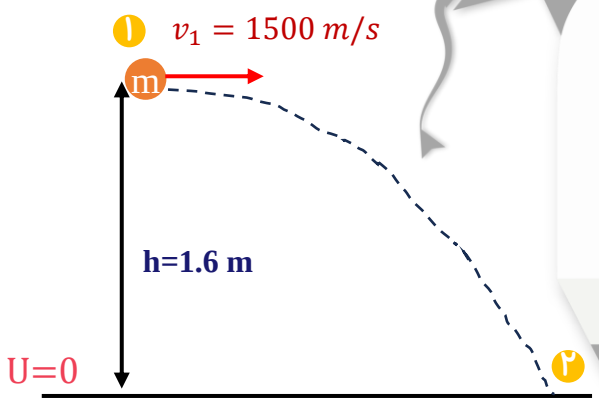
$$E_1 = E_2 \rightarrow k_1 + 0 = k_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh \rightarrow h = \frac{1}{2g}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{20} \times (1225 - 1024)$$
$$\cong 10.2\ \boldsymbol{m}$$



۱۶ سه توپ مشابه، از بالای ساختمانی با تندی یکسانی پرتاب می‌شوند (شکل زیر). توپ (۱) در امتداد افق، توپ (۲) با زاویه‌ای بالاتر از امتداد افق و توپ (۳) با زاویه‌ای پایین‌تر از امتداد افق پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی جنبشی توپ‌ها را هنگام برخورد با سطح زمین، با یکدیگر مقایسه کنید.

مطابق شکل مبدا پتانسیل را در هنگام پرتاب در نظر می گیریم (مبدا پتانسیل اختیاری است). از آنجا که ارتفاع و تندی هر سه توپ یکسان است، لذا مطابق رابطه زیر انرژی جنبشی آنها نیز در برخورد با زمین یکسان خواهد بود.

$$E_i = E_f \rightarrow k_i + U_i = k_f + U_f \rightarrow k_i = k_f - mgh \rightarrow k_f = k_i + mgh \rightarrow k_1 = k_2 = k_3$$



۱۷ گلوله‌ای به جرم ۵۰g از دهانهٔ تفنگی با تندی ۱/۵km/s و ارتفاع ۱/۶m از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی ۰/۴۵km/s به زمین برخورد کند،

الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

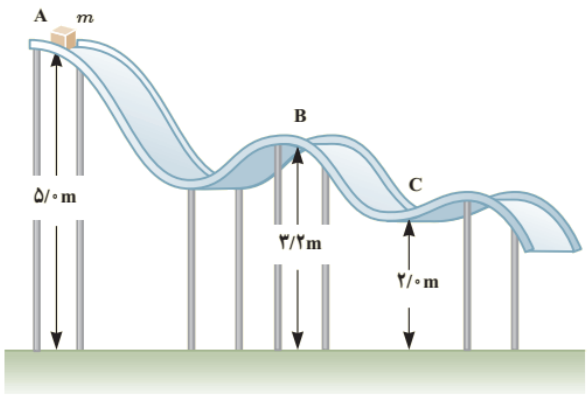
ب) مقدار به‌دست آمده در قسمت (الف) را با کار نیروی وزن مقایسه کنید.

الف) اختلاف انرژی مکانیکی گلوله در دو نقطه ۱ و ۲ برابر خواهد بود با کار انجام شده توسط نیروهای اتلافی وارد بر ذره:

$$-w_f = E_1 - E_2 = (k_1 + U_1) - (k_2 + U_2) = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-3} \times 225 \times 10^4 +$$
$$50 \times 10^{-3} \times 10 \times 1.6 - \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-3} \times 2025 \times 10^2 = 56250 + 0.8 - 5062.5 \cong 51.2 \times 10^3\ J$$
$$\rightarrow w_f = -51.2 \times 10^3 J$$

ب) کار نیروی وزن در برابر کار نیروی مقاومت هوا قابل چشم پوشی است.

$$w_{mg} = mgh = 50 \times 10^{-3} \times 10 \times 1.6 = 0.8\ J$$



۱۸ جسمی به جرم $m = ۱۲kg$ در نقطهٔ A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سُر می‌خورد (شکل زیر).
تعیین کنید :
الف) تندی جسم را در نقطهٔ B
ب) کار نیروی گرانشی را در حرکت جسم از نقطهٔ A تا نقطهٔ C.

الف) پایستگی انرژی مکانیکی را برای دو نقطه A و B می نویسیم:

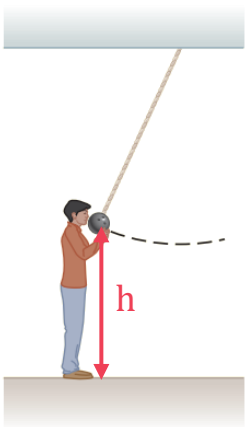
$$E_A = E_B \rightarrow mgh_A + 0 = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B \rightarrow v_B = \sqrt{2gh_A - 2gh_B} = \sqrt{2 \times 9.8(5 - 3.2)} = \sqrt{35.28} \cong 5.9\ m/s$$

ب) کار نیروی گرانشی برابر است با منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی:

$$w_{mg} = -\Delta U = -mg(h_C - h_A) = 12 \times 9.8 \times (-3) = 352.8\ J$$

روش دوم از طریق رابطه $w = Fd\cos\theta$

$$w_{mg} = mgd = mg(h_A - h_C) = 12 \times 9.8 \times 3 = 352.8\ J$$



۱۹ شکل زیر گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک بینی خود گرفته است.
الف) وقتی دانش‌آموز گلوله را رها می‌کند هنگام برگشت به او برخورد نمی‌کند. چرا؟ (این تجربهٔ ساده ولی هیجان‌انگیز را درصورت امکان در کلاستان انجام دهید.)
ب) اگر دانش‌آموز هنگام رها کردن گلوله، آن را هُل دهد، هنگام برگشت آن، چه اتفاقی می‌افتد؟

الف) گلوله در طول مسیر رفت و برگشت به دلیل نیروی مقاومت هوا مقداری از انرژی پتانسیل اولیه (mgh) خود را از دست می دهد، پس نمی تواند به محل اول بازگردد.
ب) در این حالت، امکان جبران انرژی اتلافی از طریق انرژی جنبشی اولیه وجود دارد و بنابراین احتمال برخورد با صورت دانش آموز وجود دارد.

۲۰ بالابری با تندی ثابت، باری به جرم ۶۵۰kg را در مدت ۳/۰دقیقه تا ارتفاع ۷۵m بالامی‌برد. اگر جرم بالابر ۳۲۰kg باشد، توان متوسط مفید موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

$$P = \frac{w}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{(320 + 650) \times 9.8 \times 75}{3 \times 60} = 3960.8\ W$$

$$P = 3960.8\ W \times \frac{1\ hp}{750\ W} \cong 5.3\ hp$$

۲۱ شخصی به جرم ۷۲kg، در مدت زمان ۹۰s از تعداد ۵۰ پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را ۳۰cm فرض کنید.

ارتفاع پیموده شده را از طریق ضرب تعداد پله ها در ارتفاع هر پله محاسبه می کنیم.

$$h = 50 \times 0.3 = 15\ m$$

$$P = \frac{w}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{72 \times 10 \times (50 \times 0.3)}{90} = 120\ W$$