فهرست

فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری	۷
فصل دوم: ویژگی‌های فیزیکی مواد	۲۸
فصل سوم: کار، انرژی و توان	۵۷
آزمون نوبت اول	۹۰
فصل چهارم: دما و گرما	۹۳
آزمون نوبت دوم	۱۲۴
راهنمایی سؤالات دشوار	۱۲۷
پاسخ آخر مسائل	۱۳۷

فصل سوم

کار، انرژی و توان

حرفای دوستانهٔ اول فصل

· یه‌دور مباحث «حرکت چیست» و «نیرو» از علوم نهم رو مرور کن بعد برو سراغ این فصل.

· برای حل مسئله‌های این فصل، فصل بَعد و فصل‌های بعدتَرش اول اطلاعات مسئله رو یه گوشه‌ای بنویس بعد برو سراغ حل مسئله.

· اگه بچهٔ خوبی باشی و این فصل رو خوب یاد بگیری در آیندهٔ یه‌کم دور (در سال دوازدهم) فصل‌های سینماتیک و دینامیک برات قابل فهم‌تر می‌شه.

انرژی جنبشی

انرژی جنبشی: انرژی است که یک جسم به دلیل متحرک‌بودن دارد و از رابطهٔ $K = \frac{1}{2}mv^2$ به دست می‌آید.

این رابطه به ما نشان می‌دهد که هر جسمی که دارای تندی است، انرژی جنبشی دارد.

جسمی به جرم ۴۰۰ g را با تندی ۵ m / s پرتاب می‌کنیم. انرژی جنبشی این جسم را محاسبه کنید.

قبل از جای‌گذاری مقادیر داده‌شده در فرمول انرژی جنبشی، باید گرم را به کیلوگرم تبدیل کنیم تا یکای عدد به دست آمده برای انرژی، در **SI** و برحسب ژول باشد.

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} \times 0/4\,(\text{kg})\,(5\,\text{m/s})^2 = 5\,\text{J}$$

۱ درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص نمایید.

	✓	✗
الف) انرژی جنبشی جسم با مربع تندی آن نسبت مستقیم دارد.	☐	☐
ب) انرژی جنبشی جسم با جرم آن نسبت مستقیم دارد.	☐	☐
پ) انرژی جنبشی توپی ۴ برابر انرژی جنبشی یک سنگ است؛ پس تندی توپ قطعاً ۲ برابر تندی سنگ است.	☐	☐
ت) انرژی جنبشی جسم تحت شرایطی می‌تواند منفی باشد.	☐	☐

۲ تندی جسمی به جرم ۵ kg، برابر ۴ m / s است. انرژی جنبشی آن چند ژول است؟

۳ انرژی جنبشی جسمی ۵۴ J و تندی آن ۶ m / s است. جرم جسم چند کیلوگرم است؟

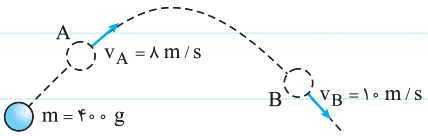
۴ جرم جسمی ۴۰۰ g و انرژی جنبشی آن ۵ J است. تندی جسم چند متر بر ثانیه است؟

۵ اتومبیلی به جرم ۱/۲ تن با تندی ۱۵ m / s در حرکت است. راننده پای خود را روی پدال گاز فشار می‌دهد و پس از مدتی تندی اتومبیل به ۲۰ m / s می‌رسد.

الف) انرژی جنبشی اتومبیل در حالت‌های اولیه و ثانویه چند مگاژول است؟

ب) انرژی اتومبیل چند درصد افزایش یافته است؟

۶ در شکل زیر توپی را مشاهده می‌کنید که به هوا پرتاب شده است. در نقاط A و B انرژی جنبشی توپ را محاسبه کنید.



۷ سطح کرهٔ ماه به علت نبود جو غلیظ و مناسب، هر روز در معرض برخورد تعداد زیادی شهاب‌سنگ است. فرض کنیم شهاب‌سنگی به جرم ۲/۱ تُن با تندی $2\ km/s$ به سطح آن برخورد کند.

الف) انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ در لحظهٔ برخورد با سطح ماه چه‌قدر است؟

ب) اگر انرژی آزادشده توسط هر تُن TNT در حدود $4/2\times10^{9}\ J$ باشد، انرژی جنبشی شهاب‌سنگ در لحظهٔ برخورد معادل انرژی آزادشدهٔ چند تُن TNT می‌باشد؟

۸ تندی اتومبیلی ۶ برابر تندی یک کامیون است. جرم کامیون ۶ برابر جرم اتومبیل است. انرژی جنبشی کدام‌یک بیشتر است؟

۹ تندی جسم A دو برابر جسم B و جرم آن نصف جرم B است. انرژی جنبشی جسم A چند برابر انرژی جنبشی جسم B است؟

۱۰ انرژی جنبشی گلوله‌ای نصف انرژی جنبشی یک توپ است. اگر تندی گلوله ۱۰ برابر تندی توپ باشد، جرم توپ چند برابر جرم گلوله است؟

۱۱ جرم توپ بسکتبال تقریباً ۱/۵ برابر جرم توپ فوتبال است. اگر بخواهیم توپ‌ها را طوری پرتاب کنیم که انرژی جنبشی توپ بسکتبال ۶ برابر انرژی جنبشی توپ فوتبال باشد، تندی توپ فوتبال باید چند برابر تندی توپ بسکتبال باشد؟

۱۲ اتومبیلی با تندی $14\ m/s$ در حرکت است. راننده پای خود را بر پدال گاز بیشتر فشار می‌دهد و طی مسافتی تندی اتومبیل به $28\ m/s$ می‌رسد.

الف) انرژی جنبشی اتومبیل چند برابر می‌شود؟

ب) اگر جرم اتومبیل ۱ تن باشد، انرژی جنبشی آن چند ژول افزایش می‌یابد؟

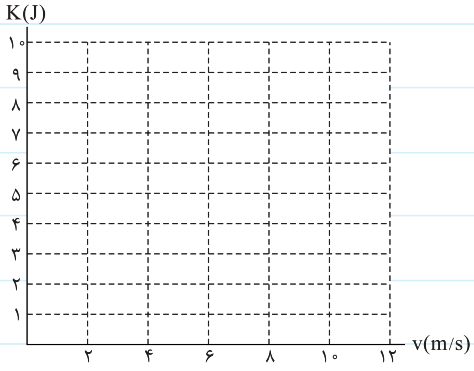
۱۳ انرژی جنبشی جسمی $120\ J$ است. اگر تندی جسم نصف شود، انرژی جنبشی آن چند ژول می‌شود؟

۱۴) جرم جسمی ۲۰۰ g است. جسم از حال سکون به حرکت درآمده و تندی آن به ۱۰ m / s می‌رسد.

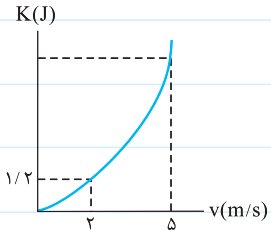
الف) جدول مقابل را کامل کنید.

$v(\frac{m}{s})$	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
K(J)						

ب) نمودار (K – v) را برای این جسم به روش نقطه‌یابی و اتصال نقاط، با تقریب خوب رسم نمایید.



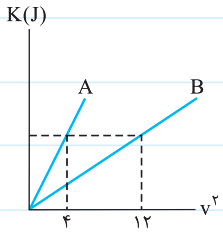
۱۵) نمودار (K – v) تغییرات انرژی جنبشی برحسب تندی، برای جسمی مطابق شکل است:



الف) جرم جسم چه‌قدر است؟

ب) هنگامی که تندی جسم ۵ m / s است، انرژی جنبشی آن چند ژول است؟

۱۶) نمودار تغییرات انرژی جنبشی برحسب مربع تندی ($K - v^2$) برای دو جسم A و B مطابق شکل است.



الف) جرم کدام جسم بیشتر است؟ چرا؟

ب) با توجه به نمودار نسبت $\frac{m_A}{m_B}$ چه‌قدر است؟

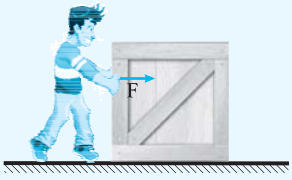
کار انجام‌شده توسط نیروی ثابت

اگر نیرویی به جسمی وارد شود و آن جسم تحت تأثیر نیرو جابه‌جا شود، آن نیرو روی جسم کار انجام داده است. یعنی اگر جسم در اثر واردشدن نیرو جابه‌جا نشود، کاری انجام نشده است.

حالت اول: در مواردی که نیروی واردشده و جابه‌جایی هم‌جهت باشند، اندازهٔ کار انجام‌شده توسط این نیرو از رابطهٔ $W = Fd$ به دست می‌آید.

از آن‌جایی که یکای نیرو در SI، نیوتون (N) و یکای جابه‌جایی متر (m) است، یکای اندازه‌گیری کار نیوتون ـ متر (N.m) می‌باشد که به آن ژول (J) گفته می‌شود.

در شکل روبه‌رو شخص نیرویی معادل ۴۰ N در راستای افق به جعبه وارد می‌کند و آن را ۵۰ cm جابه‌جا می‌کند. کاری را که شخص روی جعبه انجام داده است، محاسبه کنید.



دقت کنیم که در هنگام جای‌گذاری کمیت‌ها در فرمول کار، باید اندازهٔ آن‌ها برحسب یکای SI باشد:

$$W = Fd \Rightarrow W = ۴۰\,(N) \times ۰/۵\,(m) = ۲۰\,J$$

اگر دو یا چند نیرو روی جسم کار انجام دهند، کار کل از جمع جبری کار تک‌تک نیروها به دست می‌آید: $W_T = W_۱ + W_۲ + \cdots$

۱۷ کلمهٔ مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کرده و در جای خالی قرار دهید.

الف اگر نیرو بر جابه‌جایی ــــــ (عمود ــ مماس) باشد، کار صفر است.

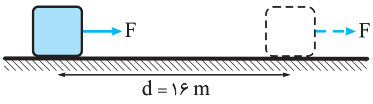
ب اگر با دستمان وزنه‌ای را مدتی روی سر نگه داریم، کاری که انجام داده‌ایم برابر با صفر ــــــ (است ــ نیست).

پ کل کاری که روی جسم انجام می‌شود از ــــــ (جمع ــ تفاضل) کار تک‌تک نیروهایی که روی جسم کار انجام می‌دهند، به دست می‌آید.

ت وزنه‌برداری که وزنه‌ای را روی سر خود نگه داشته است، انرژی مصرف می‌کند و این انرژی نهایتاً به صورت ــــــ (گرما ــ کار) به محیط داده می‌شود.

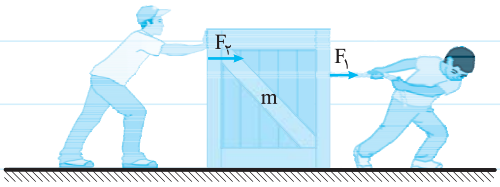
۱۸ روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، جسمی قرار دارد. یک نیروی افقی ۸ نیوتونی جسم را از حالت سکون به حرکت درمی‌آورد. کاری که این نیرو در یک جابه‌جایی ۶ متری انجام می‌دهد چند ژول است؟

۱۹ در شکل زیر پس از ۱۶ m جابه‌جایی، کاری که نیروی افقی F روی جسم انجام می‌دهد ۴۸۰ J است. اندازهٔ نیروی F را محاسبه کنید.



۲۰ در شکل زیر اندازهٔ نیروی افقی $F_۱$، ۲۰۰ N و اندازهٔ نیروی افقی $F_۲$، ۳۵۰ N است. پس از ۰/۴ m جابه‌جایی جعبه روی سطح افقی:

الف کار نیروی $F_۱$ را به دست آورید.

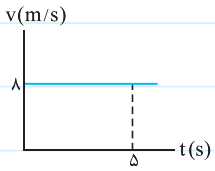


ب کار نیروی $F_۲$ را به دست آورید.

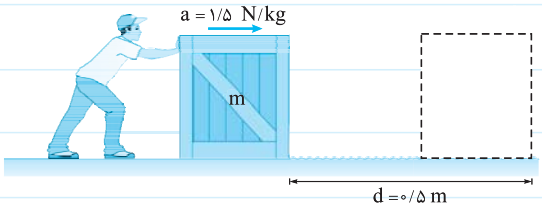
پ کل کاری را که این دو نفر روی جسم انجام داده‌اند، محاسبه نمایید.

۲۱ جسمی توسط یک نیروی افقی ۳۰ N روی سطحی افقی کشیده می‌شود. اگر تندی جسم ثابت و برابر ۴ m/s باشد، کار این نیروی افقی را در مدت ۳ s حساب کنید.

۲۲ نمودار سرعت ـ زمان جسمی که روی یک سطح افقی در یک مسیر مستقیم حرکت می‌کند، مطابق شکل است. اگر اندازهٔ نیروی افقی که جسم را روی سطح می‌کشد ۱۵ N باشد، کار انجام‌شده روی جسم تا ثانیهٔ پنجم حرکت چه‌قدر است؟

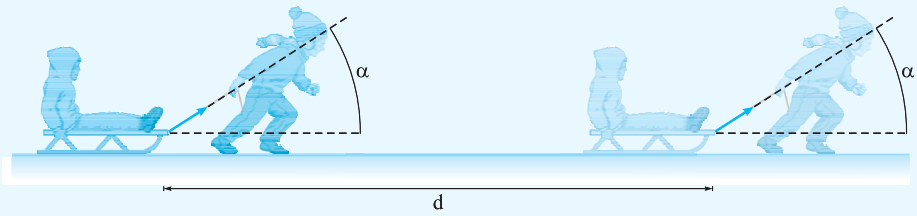


۲۳ شخصی مطابق شکل، جعبه‌ای به جرم ۸ kg را با نیروی ثابت و افقی $\vec{F}$ هل داده و آن را از حال سکون با شتاب ۱/۵ N/kg به حرکت درمی‌آورد. کار این شخص پس از ۰/۵ m جابه‌جایی چند ژول است؟



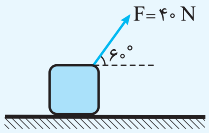
ادامهٔ کار انجام شده توسط نیروی ثابت

حالت دوم: نیروی واردشده بر جسم با جابه‌جایی هم‌جهت نباشد و زاویهٔ بین نیرو و جابه‌جایی غیر از صفر درجه باشد.



برای به دست آوردن کار این نیرو از رابطهٔ $W = (F\cos\alpha)d$ یا $W = Fd\cos\alpha$ استفاده می‌شود.

در شکل زیر جرم جسم ۱۰ kg است و جسم تحت تأثیر نیرویی به اندازهٔ ۴۰ N که تحت زاویهٔ ۶۰° نسبت به افق به آن وارد می‌شود به اندازهٔ ۱ m در راستای افق جابه‌جا می‌شود. کار نیروی واردشده بر جسم را به دست آورید:



برای محاسبهٔ کار نیروی واردشده داریم:

$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$$

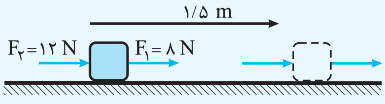
$$W_F = (F\cos\alpha)\,d = 40\,(N)\times\frac{1}{2}\times 1\,(m) = 20\,J$$

اگر دو یا چند نیرو بر جسم وارد شوند، برای به دست آوردن کاری که مجموع نیروها (نیروی خالص) روی جسم انجام داده است، دو راه وجود دارد:

راه اول: کار هر یک از نیروها را جداگانه حساب کنیم، سپس کار آن‌ها را به صورت جبری با هم جمع کنیم تا کار کل به دست آید.

راه دوم: ابتدا نیروی خالص وارد بر جسم و سپس کار نیروی خالص را به دست آوریم.

در شکل زیر دو نیروی افقی F_1 و F_2 بر جسمی وارد شده و آن را به اندازهٔ ۱/۵ m جابه‌جا می‌کنند. کار انجام‌شده توسط این نیروها روی جسم چند ژول است؟



ابتدا کار هر یک از نیروها را جداگانه حساب می‌کنیم:

$$W_1 = F_1 d$$

$$W_1 = 8\,(N)\times 1/5\,(m) = 12\,J$$

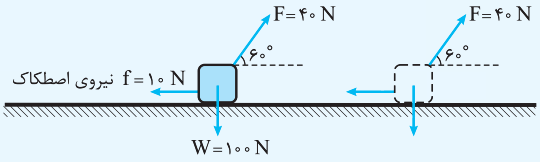
$$W_2 = F_2 d$$

$W_2 = 12\,(N) \times 1/5\,(m) = 18\,J$

حالا کار کل انجام‌شده را از مجموع کارها به دست می‌آوریم:

$W_t = W_1 + W_2 = 12\,J + 18\,J = 30\,J$

در شکل زیر جسم روی سطح افقی به اندازهٔ $0/5\,m$ به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

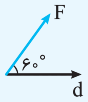


الف) کار هر یک از نیروهایی را که در شکل رسم شده‌اند، محاسبه کنید.

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

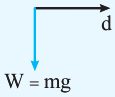
الف) برای محاسبهٔ کار هر نیرو باید زاویهٔ آن نیرو با جابه‌جایی را به دست آوریم:

کار نیروی F: پس $\alpha = 60^\circ$ است:



$W_F = Fd\cos\alpha = 40\,(N) \times 0/5\,(m) \times \frac{1}{2} = 10\,J$

کار نیروی وزن: پس $\alpha = 90^\circ$ است:



$W_W = mgd\cos\alpha = 100\,(N) \times 0/5\,(m) \times 0 = 0\,J$

کار نیروی عمود بر جابه‌جایی صفر است.

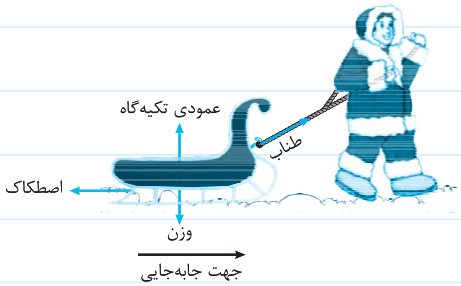
کار نیروی اصطکاک: پس $\alpha = 180^\circ$ است:

$W_f = f\,d\cos\alpha = 10\,(N) \times 0/5\,(m) \times (-1) = -5\,J$

ب) برای به دست آوردن مجموع کار نیروهای وارد بر جسم (کار کل) آن‌ها را به صورت جبری با هم جمع کنیم:

$W_t = W_F + W_w + W_f = 10\,(J) + 0 - 5\,(J) = 5\,J$

۲۴) در هر یک از موارد زیر، نیروهایی که بر جسم وارد می‌شوند، رسم شده‌اند. با توجه به جهت نیرو و جابه‌جایی، مشخص کنید که کدام نیروها روی جسم کار انجام می‌دهند و علامت کاری را که آن نیروها انجام می‌دهند، درون ☐ به صورت + یا − بنویسید.



الف) اسکیموئی به کمک طناب، سورتمه‌ای را با سرعت ثابت روی سطح برفی می‌کشد.

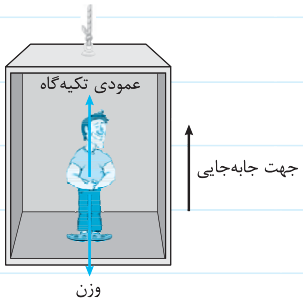
☐ وزن سورتمه ☐ نیروی عمودی تکیه‌گاه

☐ نیروی کشش طناب ☐ اصطکاک لغزشی سورتمه و سطح

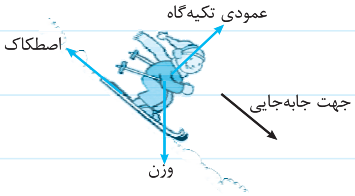
ب) شخصی درون آسانسور ایستاده و آسانسور با تندی ثابت رو به بالا حرکت می‌کند.

☐ وزن شخص

☐ نیروی عمودی تکیه‌گاه

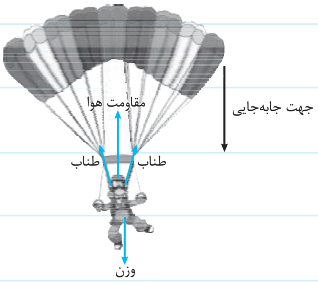


ب) اسکی‌بازی در یک سرازیری روی سطح برفی با تندی ثابت به سمت پایین حرکت می‌کند.



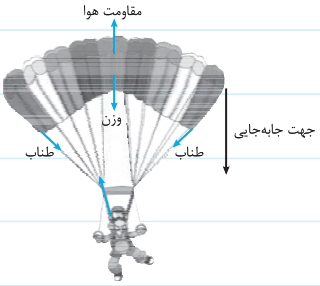
- وزن اسکی‌باز
- نیروی عمودی تکیه‌گاه
- نیروی اصطکاک چوب اسکی و سطح برفی

پ) چتربازی بعد از بازشدن چترش به سمت پایین در حرکت است.



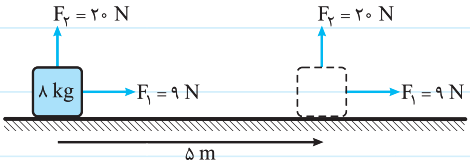
- وزن چترباز
- نیروی کشش طناب‌هایی که به چترباز متصل است.
- نیروی مقاومت هوا که بر چترباز وارد می‌شود.

ت) چتربازی بعد از بازشدن چترش به سمت پایین در حرکت است.

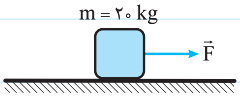


- وزن چتر
- نیروی کشش طناب‌هایی که به چتر متصل است.
- نیروی مقاومت هوا که بر چتر وارد می‌شود.

۲۵) در شکل مقابل کار نیروی‌های F_1، F_2 و وزن را پس از $5\ m$ جابه‌جایی روی سطح افقی، محاسبه نمایید. $(g = 10\ N/kg)$



۲۶) مطابق شکل، توسط نیروی افقی $F = 25\ N$ جسم را روی یک سطح افقی به حرکت درمی‌آوریم. اگر نیروی اصطکاک جنبشی جسم و سطح $20\ N$ باشد، پس از $8\ m$ جابه‌جایی:



الف) کار نیروی $\vec{F}$ را به دست آورید.

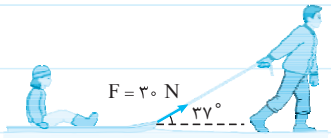
ب) کار نیروی اصطکاک جنبشی را به دست آورید.

پ) کار نیروی وزن را به دست آورید.

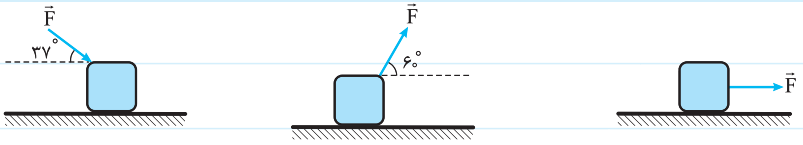
ت) کل کار انجام‌شده روی جسم را به دست آورید.

۲۷ در شکل زیر اندازهٔ نیروی شخص، $۳۰\ N$ است. پس از $۴۰\ m$ جابه‌جایی، کاری که شخص روی سورتمه انجام می‌دهد چه‌قدر است؟

$(\cos ۳۷^\circ = ۰/۸)$

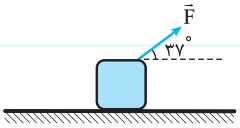


۲۸ در هر یک از شکل‌ها، به کمک نیروی $\vec{F}$ که اندازهٔ آن $۲۰\ N$ است، جسمی را روی یک سطح افقی به حرکت درمی‌آوریم. کاری را که نیروی $\vec{F}$ در یک جابه‌جایی ۴۰ سانتی‌متری روی جسم انجام می‌دهد، در هر کدام از شکل‌ها حساب کنید. $(\cos ۳۷^\circ = ۰/۸ ,\ \cos ۶۰^\circ = \frac{۱}{۲})$

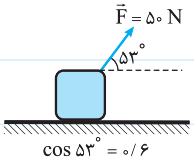


ب ب الف

۲۹ روی یک سطح بدون اصطکاک، نیرویی مطابق شکل به جسم ساکنی وارد شده و باعث می‌شود پس از مدتی $۱۶\ m$ جابه‌جا شود. اگر در این مدت $۶۴۰\ J$ کار روی جسم انجام شده باشد، اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ را محاسبه نمایید. $(\cos ۳۷^\circ = ۰/۸)$



۳۰ در شکل مقابل اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم $۱۶\ N$ است.

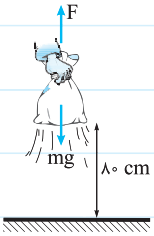


الف) پس از چند متر جابه‌جایی روی سطح افقی، کار نیروی $\vec{F}$ به $۶۰\ J$ می‌رسد؟

ب) کار نیروی اصطکاک جنبشی را در این جابه‌جایی حساب کنید.

پ) کل کار انجام‌شده روی جسم را حساب کنید.

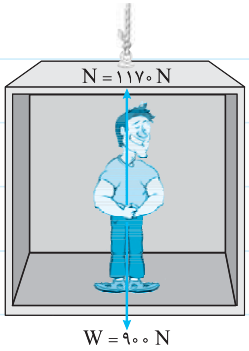
۳۱ یک کیسه به جرم $۳\ kg$ را به آرامی و با تندی ثابت در راستای قائم به اندازهٔ $۸۰\ cm$ بالا می‌بریم.



الف) کار نیروی وزن و کار نیروی $\vec{F}$ را در این جابه‌جایی حساب کنید.

ب) اگر کیسه را مجدداً با تندی ثابت به سطح زمین بازگردانیم چه تفاوتی در مقادیر محاسبه‌شده برای کار نیروی وزن و نیروی F به وجود می‌آید؟ $(g = ۱۰\ N/kg)$

۳۲ شخصی به جرم ۹۰ kg سوار یک آسانسور می‌شود. آسانسور به اندازهٔ ۶ m رو به بالا حرکت می‌کند. با توجه به اندازهٔ نیروهای تکیه‌گاه و وزن:

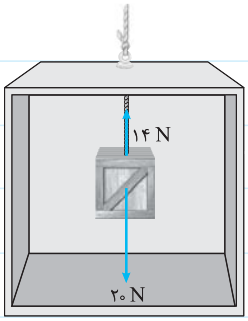


الف) کار نیروی وزن را در این مدت حساب کنید.

ب) کار نیروی عمودی سطح را در این مدت حساب کنید.

پ) کل کار انجام‌شده روی شخص را به دست آورید.

۳۳ جسمی به جرم ۲ kg به کمک طنابی از سقف آسانسوری آویزان است. آسانسور به اندازهٔ ۹ m به سمت پایین حرکت می‌کند. با توجه به اندازهٔ هر یک از نیروها که در شکل مشخص شده است:

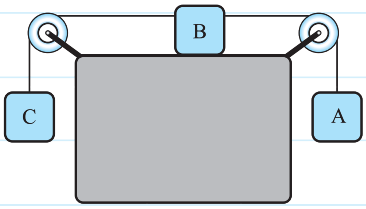


الف) کار نیروی وزن را محاسبه کنید.

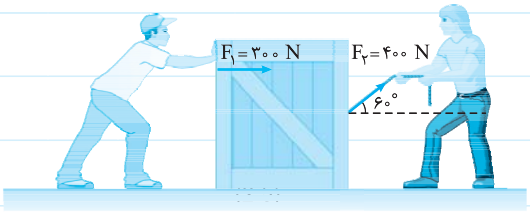
ب) اگر اندازهٔ نیروی طناب در این مدت ثابت باشد، کار نیروی طناب را محاسبه کنید.

پ) کل کار انجام‌شده روی جسم را به دست آورید.

۳۴ در شکل مقابل کل سیستم بر اثر عاملی به حرکت درمی‌آید؛ به طوری که جسم B به اندازهٔ ۴۰ cm به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. کار نیروی وزن را روی هر یک از جسم‌های A، B و C به دست آورید. $(m_A = ۳\ kg$ و $m_B = m_C = ۵\ kg$ ، $g = ۱۰\ N/kg)$



۳۵ مطابق شکل، دو کارگر جعبهٔ سنگینی را روی سطح افقی به اندازهٔ ۱/۲ m جابه‌جا می‌کنند. اگر اندازهٔ نیروی اصطکاک بین سطح و جعبه ۴۵۰ N باشد، کل کاری که روی جعبه انجام شده است، چند ژول است؟ $(\cos ۶۰^\circ = \frac{۱}{۲})$



کار و انرژی جنبشی

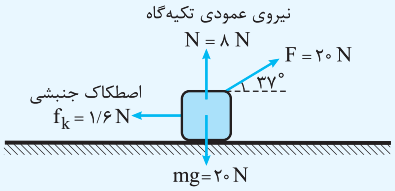
رابطهٔ کار و انرژی: نیروی خالص وارد بر یک جسم، روی جسم کار انجام می‌دهد و این کار باعث تغییر در تندی و در نتیجه تغییر در انرژی جنبشی آن می‌شود. رابطهٔ کار و انرژی جنبشی به صورت مقابل تعریف می‌شود: $W_t = \Delta K = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

در این رابطه منظور از W_t، مجموع کار نیروهای وارد بر جسم یا همان کار نیروی خالص است و نباید با کار یک تک‌نیرو اشتباه گرفته شود.

کار نیروی خالص وارد بر یک جسم، باعث تغییر در تندی و در نتیجه تغییر در انرژی جنبشی آن می‌شود.

رابطهٔ کار و انرژی جنبشی به صورت $W_t = K_2 - K_1$ یا $W_t = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ تعریف می‌شود.

در شکل مقابل نیروهای وارد بر جسم ۲ کیلوگرمی رسم شده‌اند. جسم از حالت سکون به حرکت درمی‌آید. پس از ۱۰ m جابه‌جایی، تندی جسم به چند متر بر ثانیه می‌رسد؟ ($\cos 37^\circ = 0/8$)



می‌توانیم در گام اول، کار هر یک از نیروها را با توجه به اندازه و زاویهٔ آن‌ها نسبت به جهت جابه‌جایی به دست آوریم:

$W_F = Fd\cos 37^\circ = 20\,(N)\times 10\,(m)\times 0/8 = 160\,J$

$W_{mg} = mg\,d\cos 90^\circ = 20\,(N)\times 10\,(m)\times (0) = 0\,J$

$W_N = N\,d\cos 90^\circ = 8\,(N)\times 10\,(m)\times (0) = 0\,J$

$W_{f_k} = f_k\,d\cos 180^\circ = 1/6\,(N)\times 10\,(m)\times (-1) = -16\,J$

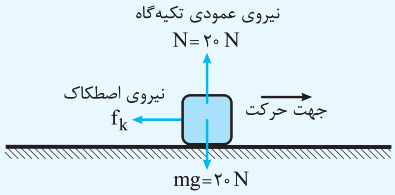
$W_t = W_F + W_{mg} + W_N + W_{f_k} = 160J + 0 + 0 - 16J = 144\,J$

$W_t = K_2 - K_1 \Rightarrow 144\,(J) = \frac{1}{2}\times 2\,(kg)\times v_2^2 - \frac{1}{2}\times 2\,(kg)\times 0$

$144\,(J/kg) = v^2 \Rightarrow v = 12\,m/s$

اگر مجموع کار انجام‌شده روی جسمی منفی باشد، به این معنی است که تندی جسم کاهش یافته و برعکس اگر مجموع کار انجام‌شده روی جسم مثبت باشد، به معنی این است که تندی جسم افزایش یافته است.

مطابق شکل جسمی به جرم ۲ kg را با تندی اولیهٔ ۱۰ m / s مماس بر سطح افقی پرتاب می‌کنیم. پس از طی مسافت ۵ m، تندی آن به ۵ m / s می‌رسد.



الف) کار نیروی اصطکاک را به دست آورید.

ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک را به دست آورید.

الف) ابتدا از رابطهٔ کار و انرژی مجموع کار نیروها را به دست می‌آوریم:

$W_t = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \Rightarrow W_t = \frac{1}{2}\times 2\,(kg)(5\,m/s)^2 - \frac{1}{2}\times 2\,(kg)(10\,m/s)^2 \Rightarrow W_t = 25\,(J) - 100\,(J) = -75\,J$

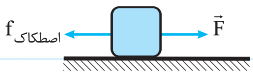
$W_t = W_{f_k} + \cancel{W_{mg}^{0}} + \cancel{W_N^{0}}$

$W_{f_k} = -75\,J$

علامت منفی کار نیروی اصطکاک به این معنی است که این نیرو با انجام کار منفی سرعت جسم را کاهش داده است.

ب) $W_{f_k} = f_k\,d\cos 180^\circ \Rightarrow -75\,(J) = f_k\times 5\,(m)\,(-1) \Rightarrow f_k = 15\,N$

۳۶ درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید.



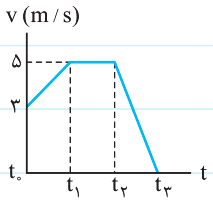
الف) در شکل مقابل کار نیروی $\vec{F}$ برابر با تغییرات انرژی جنبشی جسم در حال حرکت است.

ب) اگر حرکت جسمی یکنواخت باشد، مجموع کارهای انجام‌شده روی آن صفر است.

پ) اگر کار انجام‌شده روی جسم مثبت باشد، یعنی تندی جسم در حال افزایش است.

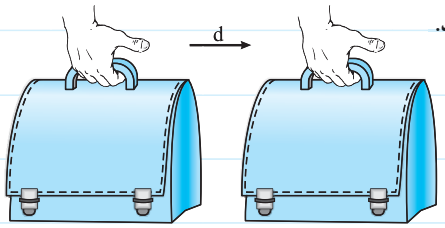
ت) در حرکت کندشونده، کار انجام‌شده روی جسم منفی است.

۳۷ نمودار $(v-t)$ ی متحرکی را که در مسیر مستقیمی در حرکت است، مشاهده می‌کنید. جدول زیر را با علامت‌های $+$، $-$ و صفر پر کنید.



بازهٔ زمانی	t_1-t_0	t_2-t_1	t_3-t_2	t_3-t_1	t_3-t_0
$W(=\Delta K)$					

۳۸ مطابق شکل زیر، کیفی را با دست نگه داشته و آن را به حرکت درآورده و با تندی ثابت در راستای افقی جابه‌جا کنید و پس از مدتی آن را متوقف کنید. در حالت‌های زیر کاری را که دست شما روی کیف انجام می‌دهد، بررسی کنید.

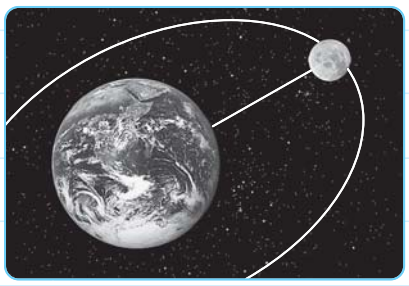


الف) در لحظهٔ شروع حرکت تا زمانی که تندی کیف ثابت شود.

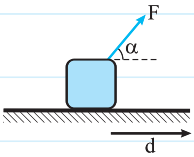
ب) در هنگامی که تندی کیف ثابت است.

پ) در بازهٔ زمانی‌ای که کیف را متوقف می‌کنید.

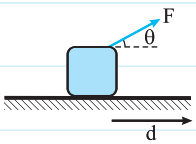
۳۹ کرهٔ ماه در حدود ۴ میلیارد سال است که با تندی ثابت در مداری تقریباً دایره‌ای به دور زمین در حال چرخش است. در حالی که نیروی خالص وارد بر آن از طرف زمین صفر نمی‌باشد. چرا با وجود نیروی خالص غیرصفر، تندی آن ثابت است؟



۴۰ در شکل‌های زیر نیروی F و جرم جعبه ثابت و سطح بدون اصطکاک است. در کدام شکل تندی جسم پس از جابه‌جایی یکسان (d) بیشتر افزایش یافته است؟ چرا؟



الف)



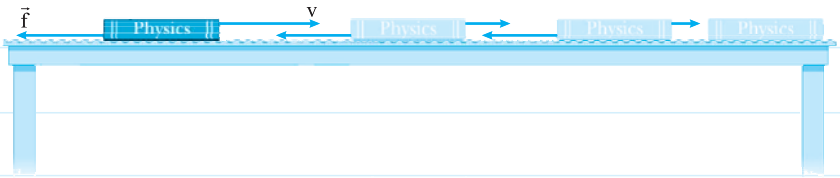
ب)

۴۱ تندی جسمی به جرم $4\,kg$ از $4\,m/s$ به $7\,m/s$ می‌رسد. در این مدت مجموع کار نیروهای وارد بر جسم چند ژول است؟

۴۲ اتومبیلی به جرم ۲ تن با تندی $72\ km/h$ در حرکت است. بعد از طی مسافتی تندی اتومبیل به $54\ km/h$ می‌رسد. مجموع کار نیروهای وارد بر اتومبیل را حساب کنید.

۴۳ کتابی به جرم $800\ g$ را مطابق شکل با تندی اولیهٔ $4\ m/s$ روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم، کتاب پس از طی $0/5\ m$ جابه‌جایی متوقف می‌شود.

الف) کل کار انجام‌شده روی کتاب چه‌قدر است؟

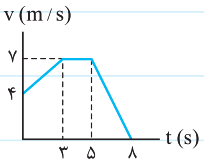


ب) اگر فقط نیروی اصطکاک، روی کتاب کار انجام داده باشد، اندازه‌ی آن چند نیوتون است؟

۴۴ روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، جسمی به جرم $5\ kg$ قرار گرفته است. نیروی افقی $\vec{F}$ بر جسم وارد می‌شود و تندی جسم پس از $18\ m$ جابه‌جایی به $12\ m/s$ می‌رسد. اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ چند نیوتون است؟

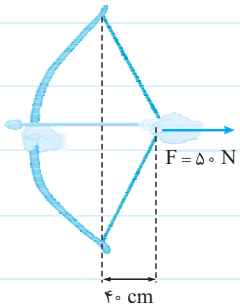
۴۵ نمودار تندی ـ زمان جسمی به جرم $2\ kg$ که در مسیر مستقیمی حرکت می‌کند، مطابق شکل است. کل کار انجام‌شده روی جسم را جداگانه در بازه‌های زمانی خواسته‌شده حساب کرده و نتایج را در جدول مقابل بنویسید.

بازهٔ زمانی	W(J)
۰ تا ۳ s	
۳ s تا ۵ s	
۵ s تا ۸ s	



۴۶ جسمی به جرم $400\ g$ با تندی ثابت $5\ m/s$ در حرکت است. نیروی جدیدی بر جسم وارد شده و به اندازهٔ $7/8\ J$ روی جسم کار انجام می‌دهد. تندی جسم چند متر بر ثانیه افزایش می‌یابد؟

۴۷ یک تیرانداز برای پرتاب تیری به جرم تقریباً $100\ g$، زِه کمان را مطابق شکل در حدود $40\ cm$ می‌کشد و تیر را رها می‌کند. اگر تا لحظهٔ جداشدن تیر از زِه کمان به طور میانگین نیرویی معادل $50\ N$ بر آن وارد شود، تیر با چه تندی‌ای از زِه جدا می‌شود؟



۴۸ جسمی به جرم $1\,kg$ روی سطح افقی بدون اصطکاکی، تحت تأثیر نیروی افقی $F = 3/2\,N$ از حالت سکون به حرکت درمی‌آید و پس از طی مسافتی، تندی آن به $8\,m/s$ می‌رسد. به کمک قضیهٔ کار و انرژی اندازهٔ جابه‌جایی جسم را حساب کنید.

۴۹ جسمی به جرم $5\,kg$ تحت تأثیر یک نیروی افقی ۸۰ نیوتونی از حالت سکون شروع به حرکت کرده و تندی‌اش پس از $2\,m$ جابه‌جایی روی یک مسیر مستقیم به $6\,m/s$ می‌رسد. کار نیروی اصطکاک جنبشی را حساب کنید.

۵۰ توپی به جرم $2\,kg$ را با تندی $10\,m/s$ از سطح زمین به سمت بالا پرتاب می‌کنیم. اگر تندی توپ در لحظهٔ برگشت به همان نقطه $8\,m/s$ باشد:

الف) کل کاری که در این رفت و برگشت روی توپ انجام شده، چه‌قدر است؟

ب) کار نیروی وزن چه‌قدر است؟

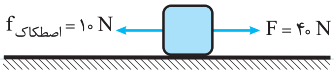
ب) کار نیروی مقاومت هوا چه‌قدر است؟

۵۱ جرم گلولهٔ اسلحهٔ ژ-۳، $20\,g$ و تندی اولیهٔ گلوله در لحظهٔ خروج از لوله $800\,m/s$ است. گلوله با این تندی به دیواری به ضخامت $10\,cm$ برخورد کرده و با تندی $200\,m/s$ از سمت دیگر دیوار بیرون می‌آید.

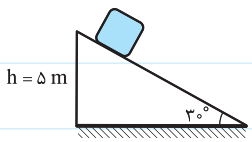
الف) کاری را که دیوار روی گلوله انجام می‌دهد، حساب کنید.

ب) متوسط نیرویی که از طرف دیوار به گلوله وارد می‌شود، چند نیوتون است؟

۵۲ مطابق شکل، جسمی به جرم $5\,kg$ روی سطح افقی توسط نیروی $\vec{F}$ از حالت سکون به حرکت درمی‌آید. به کمک قضیهٔ کار و انرژی، تندی جسم را پس از $12\,m$ جابه‌جایی حساب کنید.

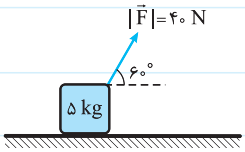


۵۳ جسمی به جرم $4\,kg$ از بالای سطح شیبداری از حالت سکون شروع به حرکت کرده و در انتهای مسیر تندی آن به $8\,m/s$ می‌رسد. اندازهٔ نیروی خالص وارد بر جسم را حساب کنید. (راهنمایی: ضلع روبه‌رو به زاویهٔ 30° نصف وتر است.)

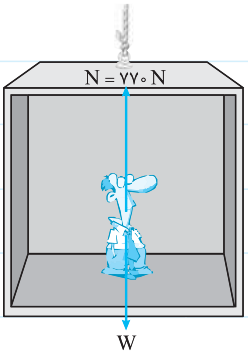


۵۴ جسمی به جرم $6\ kg$ به کمک نیروی افقی $\vec{F}$ روی سطحی افقی با نیروی اصطکاک جنبشی $30\ N$ از حال سکون در یک مسیر مستقیم شروع به حرکت می‌کند. پس از ۱۵ متر جابه‌جایی، تندی جسم به $5\ m/s$ می‌رسد. اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ را محاسبه کنید.

۵۵ در شکل زیر، نیروی $\vec{F}$ بر جسم در حال سکون وارد شده و پس از طی $9\ m$ در راستای افق، تندی آن را به $6\ m/s$ می‌رساند. اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم را محاسبه کنید.



۵۶ شخصی به جرم $70\ kg$ درون آسانسوری است که با شتاب ثابت به سمت بالا شروع به حرکت می‌کند. با توجه به اندازهٔ نیروهای رسم‌شده در شکل:



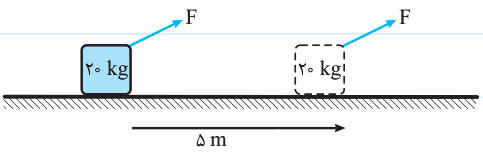
الف) چند متر پس از شروع حرکت، کل کاری که روی شخص انجام می‌شود به $140\ J$ می‌رسد؟

ب) در این مدت کاری که نیروی عمودی سطح روی شخص انجام می‌دهد، چند ژول است؟ $(g = 10\ N/kg)$

ب) در این مدت تندی آسانسور چند متر بر ثانیه افزایش یافته است؟

۵۷ به کمک چکشی به جرم $2\ kg$ میخی را به دیوار می‌کوبیم. اگر تندی چکش در لحظهٔ برخورد با میخ $6\ m/s$ باشد و در هر بار برخورد، میخ به اندازهٔ $4\ mm$ در دیوار فرو رود، متوسط نیرویی که در هر برخورد از طرف میخ بر چکش وارد می‌شود، چه‌قدر است؟

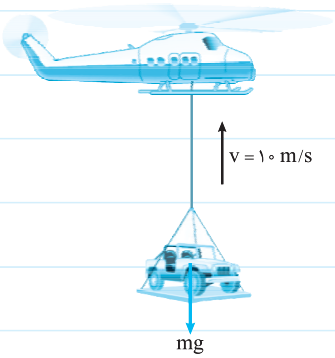
۵۸ مطابق شکل، نیروهای وارد بر جسم باعث می‌شوند که جسم با شتاب ثابت $0/2\ N/kg$ از حال سکون به حرکت درآید. پس از $5\ m$ جابه‌جایی بر روی مسیر مستقیم:



الف) کل کار انجام‌شده روی جسم چند ژول است؟

ب) تندی جسم پس از $5\ m$ جابه‌جایی به چند متر بر ثانیه می‌رسد؟

۵۹ هلی‌کوپتری که مطابق شکل اتومبیلی را حمل می‌کند، با تندی ثابت و در راستای قائم به سمت بالا در حرکت است. اتومبیل با تندی اولیهٔ $10\ m/s$ در ارتفاع ۱۵۰ متری از هلی‌کوپتر جدا شده و سقوط می‌کند. اگر جرم اتومبیل ۱ تُن باشد و با تندی $40\ m/s$ به زمین برخورد کند، کار نیروی مقاوم هوا روی اتومبیل چند ژول است؟ $(g = 10\ N/kg)$



۶۰ روی جسمی به اندازهٔ W کار انجام می‌دهیم تا تندی آن از صفر به v برسد. اگر در این وضعیت به اندازهٔ $2W$ دیگر روی جسم کار انجام دهیم، تندی آن به چند v می‌رسد؟

کار و انرژی پتانسیل

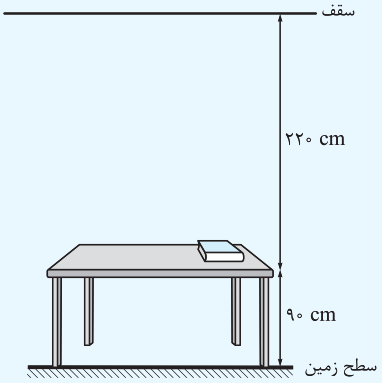
فرض کنید جسمی را از ارتفاع معینی رها کنیم، جسم به حرکت درآمده و سقوط می‌کند؛ یا اگر آن را جلوی فنری که فشرده شده است قرار دهیم، پس از رهاشدن فنر، جسم به حرکت درآمده و فنر باز می‌شود؛ یا اگر دو جسم باردار با بارهای ناهم‌نام را در نزدیکی هم قرار دهیم، پس از آن‌که آن‌ها را رها می‌کنیم، به سوی هم حرکت کرده و همدیگر را جذب می‌کنند. سؤالی که مطرح می‌شود این است که این اجسام انرژی لازم برای حرکت را از کجا آورده‌اند؟ در فیزیک به انرژی‌ای که موجب انجام این کارها می‌شود، **انرژی پتانسیل** گفته می‌شود.

حال فرض کنید که اگر جسم در فضایی به دور از هر گونه **نیروی گرانش** (مثلاً فضای بین کهکشانی) قرار داشت یا در جلوی **فنر** فشرده‌شده قرار نمی‌گرفت یا جسم باردار در نزدیکی **جسم باردار دیگری** نبود، آیا پس از رهاشدن آن‌ها حرکتی اتفاق می‌افتاد؟ قطعاً نه!

برای همین گفته می‌شود که انرژی پتانسیل متعلق به دستگاه یا سامانهٔ فیزیکی است و به صورت انفرادی قابل تعریف نیست.

انرژی پتانسیل گرانشی: اگر جسمی در اطراف زمین در ارتفاعی نسبت به سطحی قرار داشته باشد، جسم نسبت به آن سطح دارای انرژی پتانسیل گرانشی است. انرژی پتانسیل گرانشی از رابطهٔ $U = mgh$ به دست می‌آید که m جرم جسم (kg)، g شتاب جاذبه $(N/kg$ یا $m/s^2)$ و h ارتفاع جسم (m) نسبت به سطح موردنظر است.

به سطحی که انرژی پتانسیل جسم را نسبت به آن می‌سنجند، سطح مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی یا ارتفاع صفر گفته می‌شود. بسته به انتخاب سطح مبدأ پتانسیل، انرژی پتانسیل می‌تواند مثبت، منفی یا صفر شود.



کتابی به جرم $1\ kg$ مطابق شکل روی میزی به ارتفاع $90\ cm$ قرار گرفته است.
$(g = 10\ N/kg = 10\ m/s^2)$

الف) انرژی پتانسیل کتاب را نسبت به سطح زمین محاسبه کنید.

ب) انرژی پتانسیل کتاب را نسبت به سطح میز محاسبه کنید.

پ) انرژی پتانسیل کتاب را نسبت به سقف محاسبه کنید.

الف) ارتفاع نسبت به سطح زمین که در این بخش سطح مبدأ پتانسیل است، برابر با ۰/۹ m است:

$$U = mgh = ۱\,(kg) \times ۱۰\,(N/kg) \times ۰/۹\,(m) = ۹\,J$$

ب) در این قسمت سطح میز، سطح پتانسیل است؛ پس ارتفاع کتاب نسبت به آن صفر است: $U = mgh = ۱\,(kg) \times ۱۰\,(N/kg) \times ۰ = ۰$

پ) سطح پتانسیل سقف است و چون جسم پایین‌تر از این سطح قرار گرفته است، ارتفاع آن را با علامت منفی در معادله قرار می‌دهیم:

$$U = mgh = ۱\,(kg) \times ۱۰\,(N/kg) \times (-۲/۲\,m) = -۲۲\,J$$

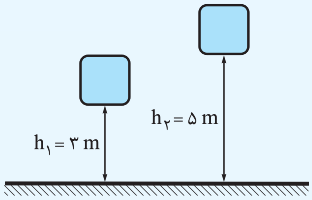
نتیجه اگر انرژی پتانسیل جسمی منفی به دست آمد به این معنی است که جسم پایین‌تر از سطح مبدأ پتانسیل قرار دارد.

از این مثال یاد می‌گیریم که انرژی پتانسیل یک جسم نسبت به سطوح مختلف متفاوت است؛ به دلیل این که در ارتفاع متفاوتی نسبت به آن سطوح قرار دارد.

تغییرات انرژی پتانسیل: همواره تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی سامانهٔ جسم ـ زمین، برابر منفی کار نیروی وزن است: $W_{mg} = -\Delta U_{mg} = -mg\Delta h$

همواره تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی سامانهٔ فنر ـ جسم یا فنر ـ دست، برابر منفی کار نیروی کشسانی فنر است: $W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{فنر}}$

جسمی به جرم ۲ kg در ارتفاع ۳ m از سطح زمین قرار دارد. اگر این جسم به ارتفاع ۵ متری برده شود، کار نیروی وزن را محاسبه کنید. ($g = ۱۰\ N/kg$)



در ابتدا انرژی پتانسیل را در هر کدام از این ارتفاع‌ها محاسبه می‌کنیم:

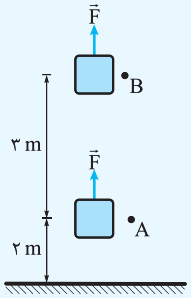
$$U_۱ = mgh_۱ = ۲\,(kg) \times ۱۰\,(N/kg) \times ۳\,(m) = ۶۰\,N.m = ۶۰\,J$$
$$U_۲ = mgh_۲ = ۲\,(kg) \times ۱۰\,(N/kg) \times ۵\,(m) = ۱۰۰\,J$$
$$\Delta U_{mg} = U_۲ - U_۱ = ۱۰۰ - ۶۰ = ۴۰\,J$$
$$W_{mg} = -\Delta U_{mg} = -۴۰\,J$$

اگر بر جسمی نیرو وارد کنیم و آن را در راستای قائم با سرعت ثابت جابه‌جا کنیم، کاری که در این عمل انجام می‌دهیم به صورت انرژی پتانسیل در جسم ذخیره می‌شود.

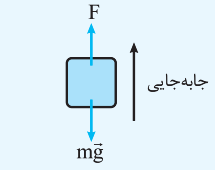
در شکل روبه‌رو جسمی به جرم ۲ kg را یک بار با تندی ثابت از نقطهٔ A به B و بار دیگر از نقطهٔ B به A منتقل می‌کنیم. در هر یک از این جابه‌جایی‌ها:

الف) کار نیروی F و کار نیروی وزن را حساب کنید.

ب) تغییر انرژی پتانسیل گرانشی جسم را محاسبه کنید.

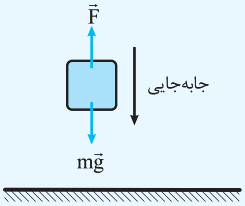


الف) در انتقال جسم از نقطهٔ A به B با سرعت ثابت، نیروی خالص وارد بر جسم صفر است؛ پس باید اندازهٔ نیروی $\vec{F}$، ۲۰ N و برخلاف جهت وزن باشد:

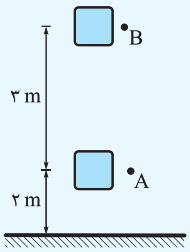


$$W_F = Fd\cos(۰^\circ) = ۲۰\,(N) \times ۳\,(m) \times ۱ = ۶۰\,J$$
$$W_{mg} = mgd\cos(۱۸۰^\circ) = ۲۰\,(N) \times ۳\,(m) \times (-۱) = -۶۰\,J$$

در انتقال جسم از نقطهٔ B به A با سرعت ثابت، باید اندازهٔ نیروی F، ۲۰ N و برخلاف جهت وزن باشد:



$$W_F = Fd\cos(۱۸۰^\circ) = ۲۰\,(N) \times ۳\,(m) \times (-۱) = -۶۰\,J$$
$$W_{mg} = mgd\cos(۰^\circ) = ۲۰\,(N) \times ۳\,(m) \times ۱ = +۶۰\,J$$



ب برای حل این بخش می‌توانیم سطح زمین، سطح هم‌تراز نقطهٔ A یا سطح هم‌تراز نقطهٔ B را به عنوان سطح پتانسیل انتخاب کنیم. انتخاب سطح پتانسیل اختیاری است و تأثیری در پاسخ مسئله ندارد. ما سطح زمین را سطح پتانسیل در نظر می‌گیریم و ابتدا انرژی پتانسیل جسم را در نقاط A و B محاسبه می‌کنیم:

$$U_B = mgh_B = ۲\,(kg)\times ۱۰\,(N/kg)\times ۵\,(m) = ۱۰۰\,J$$

$$U_A = mgh_A = ۲\,(kg)\times ۱۰\,(N/kg)\times ۲\,(m) = ۴۰\,J$$

انتقال جسم از A به B:

$$\Delta U = U_B - U_A = ۱۰۰\,(J) - ۴۰\,(J) = +۶۰\,J = -W_{mg}$$

انتقال جسم از B به A:

$$\Delta U = U_A - U_B = ۴۰\,(J) - ۱۰۰\,(J) = -۶۰\,J = -W_{mg}$$

نتیجه در هر دو انتقال، تغییر انرژی پتانسیل قرینهٔ کار نیروی وزن است.

کار نیروی وزن به شکل مسیر وابسته نیست، بلکه به اختلاف ارتفاع دو نقطهٔ موردنظر بستگی دارد.

اختلاف ارتفاع دو نقطه به انتخاب سطح پتانسیل بستگی ندارد. $\Delta U = -mg\Delta h$

۶۱ پاسخ صحیح سؤال‌های زیر را مشخص کنید. (ممکن است بعضی از سؤال‌ها بیش از یک پاسخ صحیح داشته باشند.)

الف کار نیروی وزن یک جسم به کدام‌یک از موارد زیر بستگی ندارد؟

☐ جرم جسم ☐ تغییر ارتفاع جسم از سطح زمین ☐ شکل مسیر حرکت جسم

ب در کدام‌یک از موارد زیر انرژی پتانسیل گرانشی جسم کاهش می‌یابد؟

☐ کار نیروی وزن مثبت باشد. ☐ کار نیروی وزن منفی باشد. ☐ نیروی وزن کاری انجام ندهد.

پ سطح مبدأ پتانسیل گرانشی چیست؟

☐ سطحی است که پتانسیل گرانشی جسم را نسبت به آن می‌سنجند.

☐ سطحی است که پتانسیل گرانشی جسم هم‌سطح آن صفر است.

ت چه موقع انرژی پتانسیل گرانشی جسمی منفی است؟

☐ جسم زیر سطح مبدأ پتانسیل باشد.

☐ جسم بالای سطح مبدأ پتانسیل باشد.

☐ جسم هم‌سطح با سطح مبدأ پتانسیل باشد.

ث جسمی را از سطح زمین بلند کرده و با تندی ثابت به طرف بالا می‌کشیم. کار نیروی دست ما صرف چه چیزی شده است؟

☐ افزایش انرژی پتانسیل گرانشی جسم

☐ کاهش انرژی پتانسیل گرانشی جسم

☐ افزایش انرژی جنبشی جسم

ج جسمی را از سطح زمین بلند کرده و با شتاب ثابت به سمت بالا می‌کشیم. کاری که دست ما انجام داده، صرف چه چیزی شده است؟

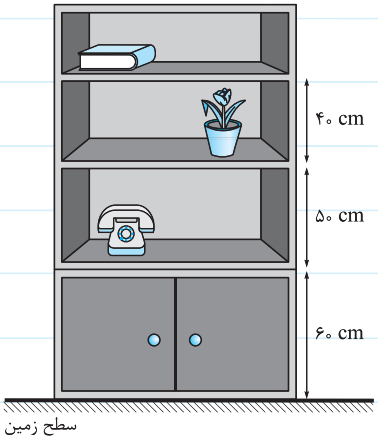
☐ افزایش انرژی پتانسیل گرانشی جسم

کاهش انرژی پتانسیل گرانشی جسم

افزایش انرژی جنبشی جسم

۶۲ جسمی به جرم $1\,kg$ روی میزی به ارتفاع $1\,m$ قرار دارد. دانش‌آموز **A**، انرژی پتانسیل گرانشی جسم را $10\,J$ اندازه می‌گیرد؛ دانش‌آموز **B**، $20\,J$، دانش‌آموز **C**، صفر و دانش‌آموز **D** آن را $-20\,J$ اندازه می‌گیرد. دبیر پس از شنیدن نحوهٔ محاسبهٔ آن‌ها، اعلام می‌کند که جواب هر چهار نفر درست است. به نظر شما چگونه چهار جواب متفاوت برای انرژی پتانسیل یک جسم می‌تواند صحیح باشد؟ (هر چهار نفر شتاب گرانش را $10\,N/kg$ در نظر گرفته‌اند.)

۶۳ درون قفسه‌های کمد شکل مقابل، گلدانی به جرم $2\,kg$، کتابی به جرم $700\,g$ و تلفنی به جرم $800\,g$ وجود دارد.

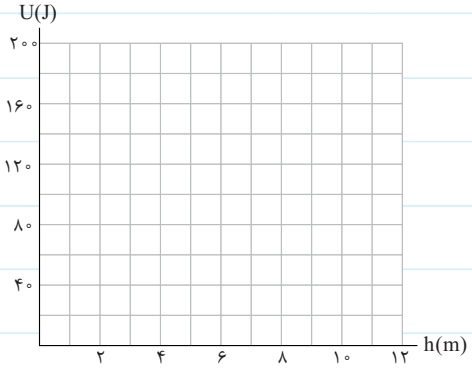


الف انرژی پتانسیل هر یک از آن‌ها را نسبت به سطح زمین محاسبه نمایید. $(g = 10\,N/kg)$

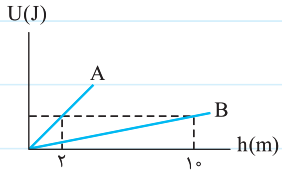
ب انرژی پتانسیل گرانشی هر یک را نسبت به سطحی که گلدان روی آن قرار گرفته است، به دست آورید.

پ اگر کتاب را به طبقه‌ای که گلدان در آن است منتقل کنیم، تغییر انرژی پتانسیل آن چه‌قدر است؟ یک بار براساس پاسخ‌های به دست آمده از قسمت «الف» و بار دیگر براساس پاسخ‌های به دست آمده از قسمت «ب» مسئله را حل کنید و پاسخ‌ها را با هم مقایسه نمایید.

۶۴ جسمی به جرم $2\,kg$ را از سطح زمین بلند کرده و آن را در راستای قائم تا ارتفاع ۱۰ متری می‌بریم. نمودار تغییر انرژی پتانسیل جسم برحسب تغییر ارتفاع را $(U - h)$ رسم نمایید. $(g = 10\,N/kg)$



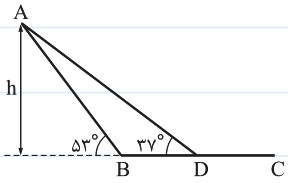
۶۵ نمودار تغییر انرژی پتانسیل جسم برحسب تغییر ارتفاع $(U-h)$ برای دو جسم A و B مطابق شکل است. با فرض این‌که ارتفاع هر دو جسم در نزدیکی سطح زمین در حال تغییر است:



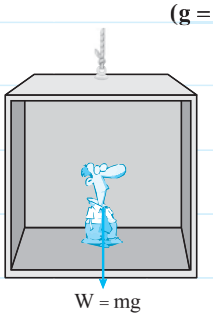
الف) جرم کدام جسم بیشتر است؟ چرا؟

ب) اگر جرم جسم B، ۴ kg باشد، جرم جسم A چند کیلوگرم است؟

۶۶ در شکل زیر جسم را یک بار از مسیر ABC و بار دیگر از مسیر ADC از نقطهٔ A به نقطهٔ C منتقل می‌کنیم. نشان دهید که کار نیروی وزن در هر دو مسیر یکسان است.



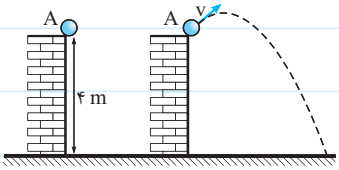
۶۷ شخصی به جرم ۹۰ kg درون آسانسوری است که با تندی ثابت ۴ m / s به سمت پایین در حرکت است. $(g = ۱۰\ N/kg)$



الف) کاری که نیروی وزن در مدت ۳ s روی شخص انجام می‌دهد، چه‌قدر است؟

ب) انرژی پتانسیل گرانشی شخص در این مدت چه‌قدر تغییر کرده است؟

۶۸ توپی به جرم ۱/۵ kg را مطابق شکل یک بار از نقطهٔ A رها کرده و بار دیگر از همان نقطهٔ A پرتاب می‌کنیم. کار انجام‌شده توسط نیروی وزن روی جسم را تا لحظهٔ برخورد با زمین، در این دو حالت حساب کنید. $(g = ۱۰\ N/kg)$



۶۹ موتورسواری با تندی ۳۰ m / s از تپه‌ای به ارتفاع ۹۰ m پریده و با سرعت ۳۵ m / s روی تپهٔ دیگری به ارتفاع ۴۰ m فرود می‌آید. نسبت انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل گرانشی موتور را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید. $(g = ۱۰\ N/kg)$