



دانشگاه یزد
Yazd University

به نام خدا

مبانی فیزیک ۱

دانشکده فیزیک

مدرس:

زهرا اسدی

zahra.asadi6640@yahoo.com

فصل ہفتم

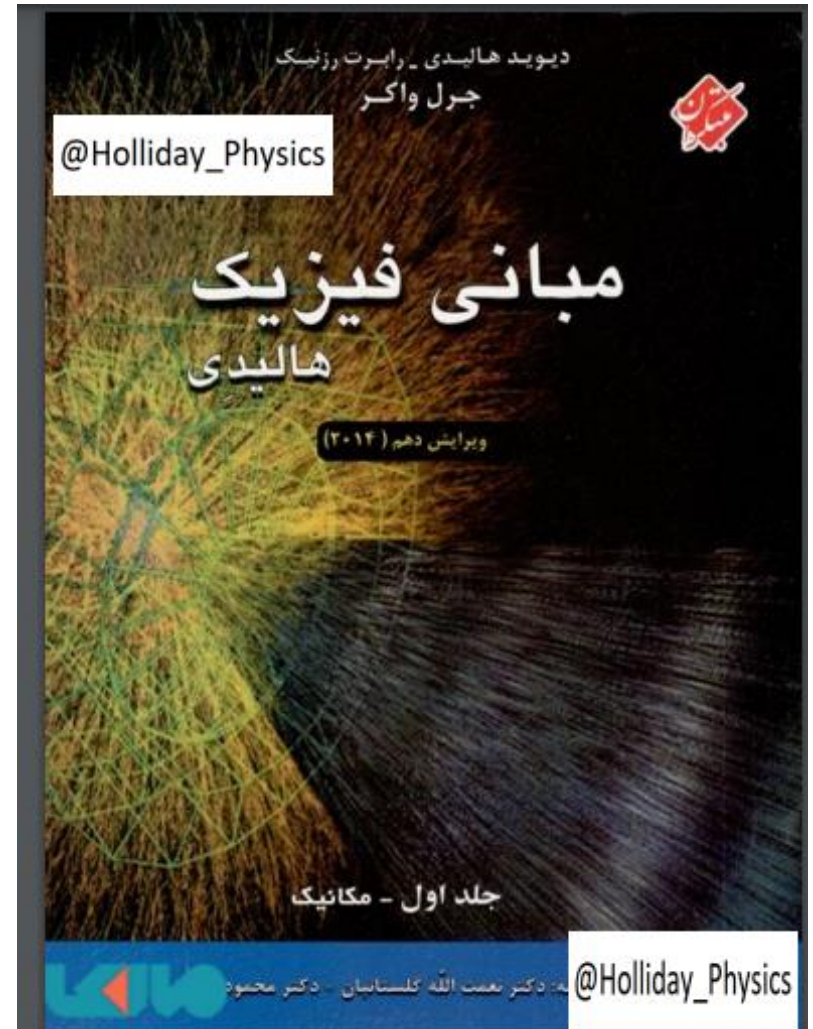
دیوید ہالیدی - رابرٹ رزنیک

جرل واکر

مبانی فیزیک ہالیدی

ویرایش دہم (۲۰۱۴)

جلد اول - مکانیک





انرژی جنبشی و کار

□ کار نیروی ثابت

□ انرژی جنبشی و قضیه کار - انرژی

□ توان

انرژی

□ یکی از اهداف اصلی علم فیزیک بررسی انرژی است.

□ انرژی یک کمیت نردهای است.

□ اصل پایستگی انرژی: انرژی می تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل شود و یا از جسمی به جسم دیگر انتقال یابد ولی مقدار کل آن همواره ثابت باقی می ماند.

□ مثلاً، در یک مایکروفر، انرژی الکترومغناطیسی به گرما تبدیل می شود.



انرژی جنبشی

انرژی جنبشی یکی از انواع انرژی است که به جسم در حال حرکت مربوط می شود.

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

یکای انرژی جنبشی: ژول

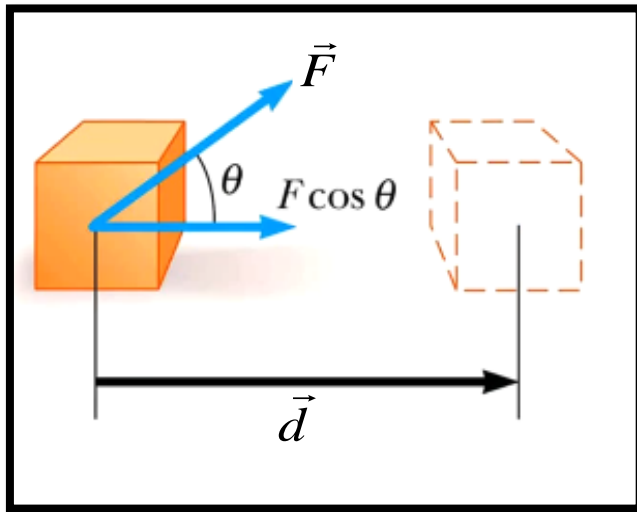
کار



- وقتی ماشینی را هل می دهید
- وقتی یک میز سنگین را روی زمین میکشید
- اعمال نیرو + جا به جا شدن
- کار مقدار انرژی داده شده یا یا گرفته شده از شیء توسط نیروی وارد شده به آن است. کار مربوط به انرژی داده شده به شیء مثبت و کار مربوط به انرژی گرفته شده از شیء منفی است.
- بنابراین کار انرژی انتقال یافته است و انجام کار عمل انتقال انرژی است.
- هر چه نیرو بیشتر یا جا به جایی بزرگ تر ← کار بیشتر

■ نیروی ثابت \vec{F} با امتداد جابجایی \vec{d} زاویه θ بسازد:

θ : زاویه بین جهت جابجایی \vec{d} و نیروی \vec{F}



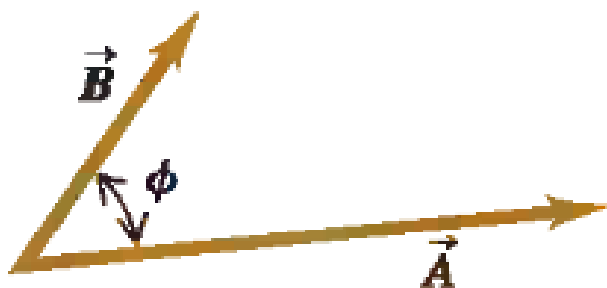
$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = F d \cos \theta$$

فقط از آن مؤلفه نیرو که در امتداد جابجایی است می‌توان استفاده کرد.

کاری که مؤلفه نیروی عمود بر جابجایی انجام می‌دهد صفر است.

یادآوری: ضرب نقطه‌ای بردارها

- ضرب نقطه‌ای یا ضرب نرده‌ای
- نتیجه: یک عدد



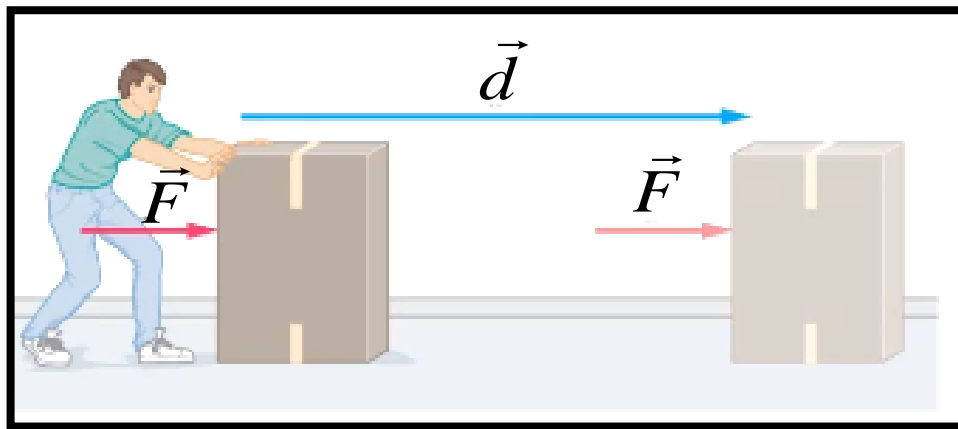
$$\vec{A} \cdot \vec{B}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \phi = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \phi$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

■ نیروی ثابت \vec{F} در امتداد جابجایی \vec{d} باشد:



$$W = F d$$

$$1 \text{ joule} = (1 \text{ newton}) (1 \text{ meter}) \quad \text{or} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

کار یک کمیت نرده‌ای است.

کار نیروی ثابت

الزاماً هر نیرویی که به جسم وارد می‌شود بر روی آن کار انجام نمی‌دهد. یعنی اگر نیرو در امتداد جابجایی مؤلفه‌ای نداشته باشد آن مؤلفه نیرو کار انجام نمی‌دهد.

$$\left. \begin{array}{l} F = 0 \\ d = 0 \\ \theta = 90^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \text{کار صفر است}$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = F d \cos \theta$$

$$\theta < 90^\circ \Rightarrow \cos \theta > 0 \Rightarrow \text{کار مثبت است}$$

$$\theta > 90^\circ \Rightarrow \cos \theta < 0 \Rightarrow \text{کار منفی است}$$

کار یک نیرو در صورتی مثبت است که مؤلفه برداری آن نیرو در جهت جابجایی باشد، و در صورتی منفی است که مؤلفه برداری آن نیرو در خلاف جهت جابجایی باشد.

مثال

فردی خودرویی را با **نیروی** ثابت **F** هل می‌دهد. با توجه به بردار **جابه‌جایی**، **کار** انجام شده را به دست آورید.

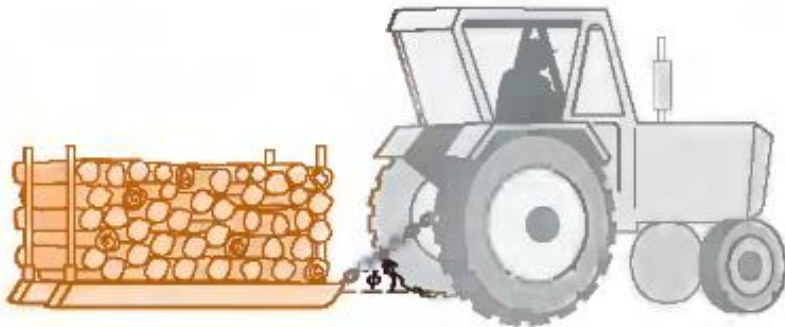
$$\vec{F} = (160 \text{ N})\hat{i} - (40 \text{ N})\hat{j}$$

$$\vec{s} = (14 \text{ m})\hat{i} + (11 \text{ m})\hat{j}$$

$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{s} = F_x x + F_y y \\ &= (160 \text{ N})(14 \text{ m}) + (-40 \text{ N})(11 \text{ m}) \\ &= 1.8 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

مثال

- یک تراکتور، یک بسته هیزم به وزن ۱۴۷۰۰ نیوتن را روی زمین به اندازه ۲۰ متر جابه‌جا می‌کند. نیروی وارده از تراکتور، تحت زاویه ۳۶/۹ درجه، برابر ۵۰۰۰ نیوتن؛ است. کار را حساب کنید.



$$\begin{aligned} W_T &= F_T \cos \phi \\ &= (5000 \text{ N})(20 \text{ m})(0.800) = 80,000 \text{ N} \cdot \text{m} = 80 \text{ kJ} \end{aligned}$$

مثال

جسمی به جرم m را از سطح زمین با سرعت ثابت به ارتفاع d بالا می‌بریم. (الف) کار نیروی گرانش؟ (ب) کار نیروی بالابرنده؟ (ج) کار خالص را حساب کنید.

$$W_g = \vec{F} \cdot \vec{d} = mg d \cos(180^\circ) = -mgd \quad \text{(الف)}$$

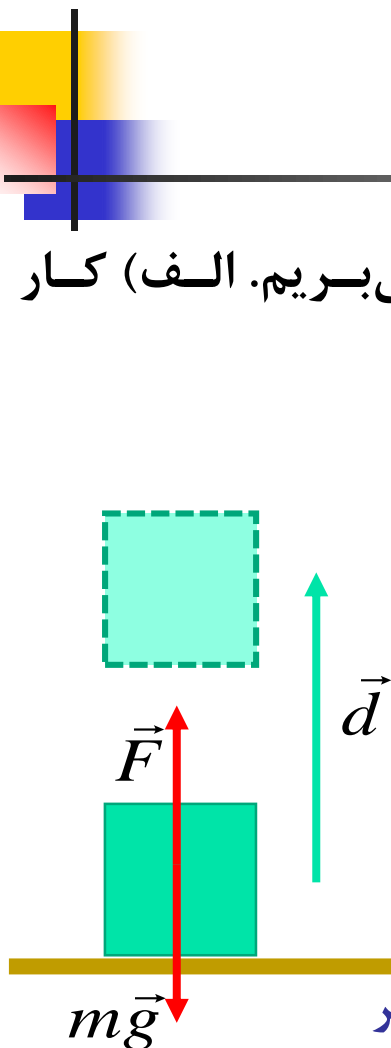
$$\text{سرعت ثابت} \Rightarrow \vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{F} = m\vec{g}$$

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{d} = F d \cos(0) = mgd \quad \text{(ب)}$$

(ج) کار خالص انجام شده روی جسم مجموع کارهای انجام شده توسط هر

نیروی منفرد است.

$$W_{net} = W_g + W_F = -mgd + mgd = 0$$



مثال

بر جسم متحرکی به جرم 2kg که در طول مدت زمان 4s از مکان اولیه

$\vec{d}_i = 3\hat{i} - 2\hat{j} + 5\hat{k}$ به مکان نهایی $\vec{d}_f = -5\hat{i} + 4\hat{j} + 7\hat{k}$ منتقل می‌شود

نیروی $\vec{F} = 3\hat{i} + 7\hat{j} + 7\hat{k}$ وارد می‌آید. **الف)** کار انجام شده توسط این نیرو روی

جسم را محاسبه کنید. **ب)** زاویه بین بردارهای \vec{d}_i و \vec{d}_f

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{d}$$

$$\Delta \vec{d} = \vec{d}_f - \vec{d}_i = (-5\hat{i} + 4\hat{j} + 7\hat{k}) - (3\hat{i} - 2\hat{j} + 5\hat{k}) = -8\hat{i} + 6\hat{j} + 2\hat{k}$$

$$W = (3\hat{i} + 7\hat{j} + 7\hat{k}) \cdot (-8\hat{i} + 6\hat{j} + 2\hat{k}) = 32 \text{ J}$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{d}_i \cdot \vec{d}_f}{|\vec{d}_i| |\vec{d}_f|} = \frac{(-5\hat{i} + 4\hat{j} + 7\hat{k}) \cdot (3\hat{i} - 2\hat{j} + 5\hat{k})}{\sqrt{25 + 16 + 49} \sqrt{9 + 4 + 25}} = 0.2$$

$$\Rightarrow \theta = \cos^{-1}(0.2)$$

مثال

یک قطعه به جرم $m = 0.25 \text{ kg}$ بر کف اتاقک بالابری به جرم $M = 900 \text{ kg}$ قرار دارد. اتاقک توسط کابلی به اندازه مسافت $d = 2.4 \text{ m}$ رو به بالا کشیده می‌شود.

اگر در طی مسافت d نیروی عمودی وارد بر قطعه از سوی کف برابر با $F_N = 3N$

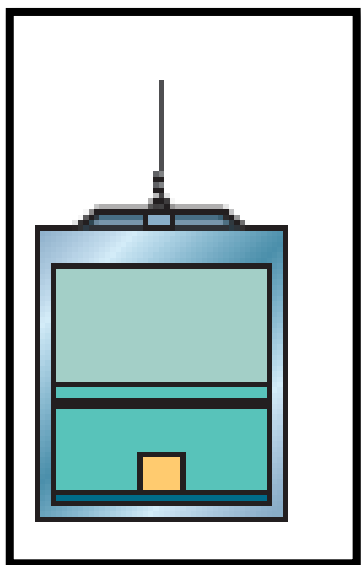
باشد چه مقدار کار توسط کابل بر روی قطعه صورت پذیرفته است؟

حل: ابتدا باید نیروهای وارد بر کل سیستم را مشخص کنیم.

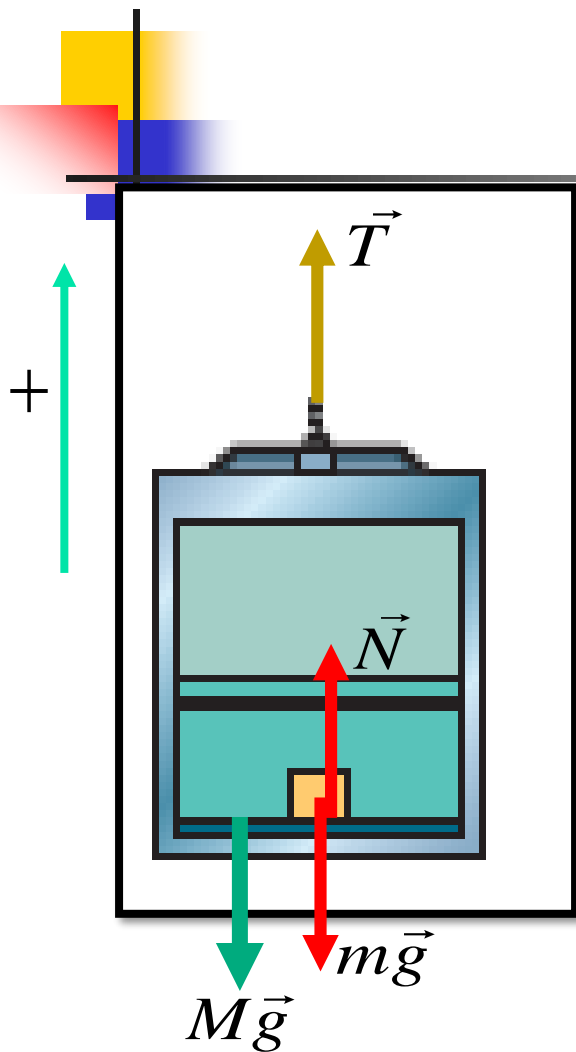
۱- نیروی وزن اتاقک

۲- نیروی وزن قطعه

۳- نیروی کشش طناب



پاسخ



در مورد کل سیستم

$$\sum F_y = (m + M)a$$

$$\Rightarrow T + N - (m + M)g = (m + M)a$$

1

در مورد قطعه m

$$\sum F_y = ma$$

$$\Rightarrow N - mg = ma \Rightarrow a = \frac{N - mg}{m}$$

2

با جایگذاری رابطه ۲ در رابطه ۱ می توان مقدار T را بدست آورد.

با بدست آوردن مقدار T می توان کار این نیرو را در طی جابجایی d از رابطه زیر بدست آورد.

$$T + N - (m + M)g = (m + M)a \quad \text{1}$$

$$a = \frac{N - mg}{m} \quad \text{2}$$

$$a = \frac{3 - 2.5}{0.25} = \frac{0.5}{0.25} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$T + 3 - (900.25)10 = (900.25)2$$

$$T = 1800.5 + 9002.5 - 3 = 10800 \text{ N}$$

$$W = \vec{T} \cdot \vec{d} = T d$$

$$W = 10800 \times 2.4 = 25920 \text{ J} \approx 26 \text{ kJ}$$

کار نیروی متغیر – مورد یک بعدی

■ به عنوان مثال از کار **نیروی متغیر** کار **نیروی فنر** را محاسبه می کنیم.

■ طبق قانون هوک نیروی \vec{F}_s ناشی از فنر متناسب است با جابجایی \vec{d} سر آزاد فنر از مکانش در هنگامی که فنر در حالت تعادلش است. نیروی فنر با رابطه زیر داده می شود.

$$F_s = - kx$$

منفی نشان دهنده این است که جهت نیروی فنر همواره در سوی مخالف جهت جابجایی سر آزاد فنر است. **k** ثابت فنر نامیده می شود و معیاری از سختی فنر است. یکای **SI** برای **k** نیوتن بر متر است.

انرژی جنبشی

■ کار کل، علاوه بر جابه‌جایی به اندازه سرعت جسم هم مربوط است.

■ **انرژی جنبشی** مستقل از جهت حرکت و همواره مثبت

■ هر چه سرعت شیئی بیشتر باشد، انرژی جنبشی آن بیشتر است. وقتی شیئی ساکن است، انرژی جنبشی آن صفر است.

■ **انرژی جنبشی** یک جسم طبق تعریف برابر است با :

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

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = \text{یک ژول}$$

قضیه ی کار و انرژی

کار بر آیند نیروهای وارد بر یک جسم برابر است با تغییرات انرژی جنبشی آن.

انرژی جنبشی \rightarrow سرعت \rightarrow جابجایی \rightarrow کار

تغییر در انرژی جنبشی یک ذره \square کار خالص انجام شده روی ذره

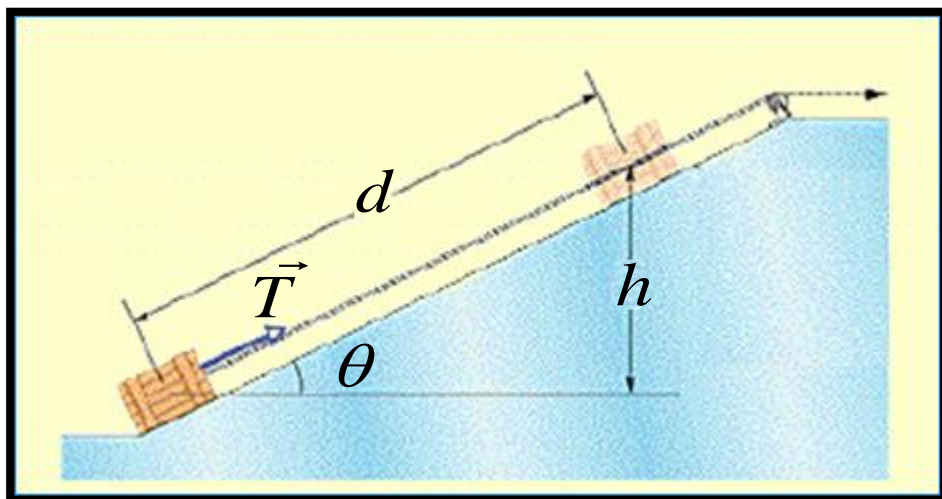
$$\Delta k = k_f - k_i = W$$

❖ اگر کار خالص انجام شده روی یک ذره مثبت باشد، آنگاه انرژی جنبشی ذره به اندازه آن کار افزایش می یابد. اگر کار خالص انجام شده منفی باشد، آنگاه انرژی جنبشی ذره به اندازه آن کار کاهش می یابد.

❖ قضیه کار و انرژی جنبشی چه **نیرو ثابت** باشد و چه **نیرو متغیر** باشد صادق است.

مثال

مثال ۷-۵: یک صندوق به جرم 15kg که در آغاز ساکن است توسط کابلی روی شیبی بدون اصطکاک به اندازه $d = 5/7\text{m}$ رو به بالا تا ارتفاع $h = 2/5\text{m}$ که محل توقف آن است کشیده می‌شود. (الف) کار نیروی گرانش چقدر است؟ (ب) کار نیروی کشش کابل چقدر است؟

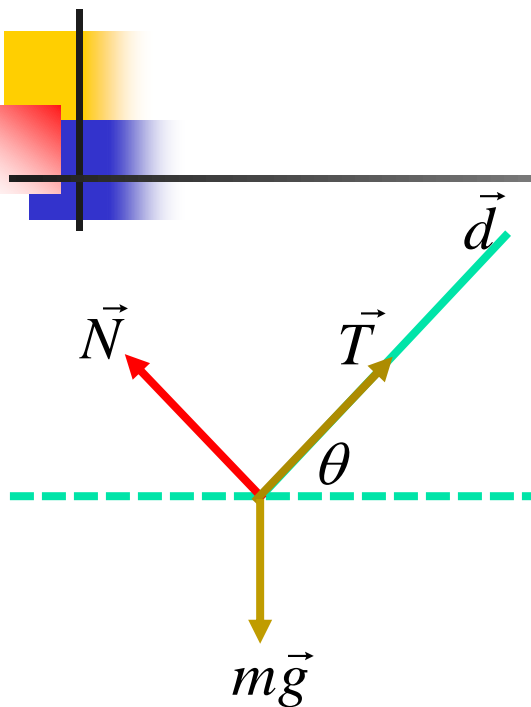


نیروهای وارد بر جعبه را مشخص می‌کنیم.

۱- نیروی وزن

۲- نیروی عمودی تکیه‌گاه

۳- نیروی کشش کابل



$$W_g = m \vec{g} \cdot \vec{d} = m g d \cos(\theta + 90) = - m g d \sin \theta ,$$

$$W_g = - m g d \frac{h}{d} \Rightarrow W_g = - m g h$$

(ب) کار نیروی کشش کابل؟ مقدار \mathbf{T} را نمی‌دانیم. اما می‌دانیم که صندوق قبل و بعد از بالا برده شدن ساکن است. پس می‌توان از قضیه کار و انرژی جنبشی استفاده کرد.

$$\Delta k = W = 0 \Rightarrow W_g + W_N + W_T = 0, \quad W_N = Fd \cos 90 = 0$$

$$\Rightarrow W_T = -W_g$$

توان

آهنگ زمانی کار انجام شده توسط یک نیرو توان ناشی از آن نیرو گفته می شود.
توان یک کمیت اسکالر است و یکای آن وات (ژول بر ثانیه) است.

$$P_{avg} = \frac{W}{\Delta t} \quad \text{توان متوسط:}$$

$$P = \frac{dW}{dt} \quad \text{توان لحظه‌ای:}$$

توان لحظه‌ای را می توان به صورت ضرب نقطه‌ای زیر نیز نوشت:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cos \theta dx}{dt} = F \cos \theta v \Rightarrow P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

توان

□ در دستگاه **SI** (سیستم بین المللی) واحد توان وات است که برابر یک ژول بر یک ثانیه است.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$$

□ گاهی از واحد اسب بخار استفاده می شود که

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

■ بوئینگ ۷۶۷ دو موتور جت دارد که نیروی پیشران ۱۹۷ کیلونیوتن تولید می‌کنند. وقتی هواپیما با سرعت ۲۵۰ متر بر ثانیه حرکت کند، توان هر موتور چند وات است؟

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = (1.97 \times 10^5 N)(250 m / s) = 4.93 \times 10^7 w$$

مثال

یک نیروی ۵ نیوتنی بر جسمی به جرم ۱۵ کیلوگرم که در ابتدا ساکن است وارد می‌شود. کار انجام شده توسط نیرو را (الف) در ثانیه اول، (ب) در ثانیه دوم، و (پ) در ثانیه سوم محاسبه کنید. (ت) توان لحظه‌ای این نیرو در پایان ثانیه سوم چقدر است؟

$$\Delta k = k_f - k_i = W$$

(الف)

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = at + v_0, \quad v_0 = 0 \Rightarrow v_1 = at \\ a = \frac{F}{m} \end{array} \right\} \Rightarrow v_1 = \frac{F}{m} t_1 = \frac{5}{15} \times 1 = \frac{1}{3} \frac{m}{s}$$

$$W = \Delta k = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times \frac{1}{9} = 0.83 \text{ J}$$

پاسخ

(ب) برای پیدا کردن مقدار کار انجام شده در ثانیه دوم نیز ابتدا سرعت را پیدا می کنیم و سپس با استفاده از قضیه کار و انرژی جنبشی مقدار کار را محاسبه می کنیم.

$$v_2 = at + v_0 = \frac{F}{m}t_2 = \frac{5}{15} \times 2 = \frac{2}{3} \frac{m}{s} \quad W = \Delta k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times \frac{4}{9} - \frac{1}{2} \times 15 \times \frac{1}{9} = 2.5 \text{ J}$$

(پ) به همین ترتیب کار انجام شده در ثانیه سوم نیز محاسبه می شود.

$$v_3 = \frac{F}{m}t_3 = \frac{5}{15} \times 3 = 1 \frac{m}{s} \Rightarrow W = \Delta k = \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = 4.2 \text{ J}$$

(ت) توان لحظه ای این نیرو در پایان ثانیه سوم از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P = Fv_3 = 5 \times 1 = 5 \quad \text{وات}$$

۳ در کدام حالت، کار انجام شده توسط نیروی ثابت \vec{F} روی یک ذره در طی جابه‌جایی راست‌خط \vec{d} مثبت یا منفی است؟ (الف) زاویه‌ی میان \vec{F} و \vec{d} برابر با 30° درجه است؛ (ب) این زاویه 100° درجه است؛ (پ) $\vec{F} = 2\hat{i} - 3\hat{j}$ و $\vec{d} = -4\hat{i}$.

۱۱ تک نیرویی در سه حالت به یک ذره‌ی در حال حرکت وارد

می‌شود. سرعت‌ها (در آن لحظه) و نیروها عبارت‌اند از:

$$\vec{F} = (6\hat{i} - 20\hat{j})\text{N}, \vec{v} = (-4\hat{i})\text{m/s} \quad (۱)$$

$$\vec{F} = (-2\hat{i} + 7\hat{k})\text{N}, \vec{v} = (2\hat{i} - 3\hat{j})\text{m/s} \quad (۲)$$

$$\vec{F} = (2\hat{i} + 6\hat{j})\text{N}, \vec{v} = (-3\hat{i} + \hat{j})\text{m/s} \quad (۳)$$

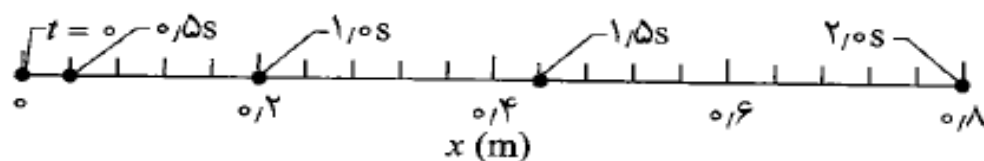
این حالت‌ها را با توجه به آهنگ انتقال انرژی به ذره، از

بیشترین تا کمترین مقدار، و آهنگ انتقال انرژی گرفته شده از

ذره، از کمترین تا بیشترین مقدار، مرتب کنید.

* ۱ پروتونی (به جرم $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$) در یک شتاب دهنده در طول یک خط راست با شتاب $3.6 \times 10^{15} \text{ m/s}^2$ حرکت می کند. اگر پروتون با تندی آغازی $2.4 \times 10^7 \text{ m/s}$ مسافت 3.5 cm را بپیماید، (الف) تندی پایانی آن و (ب) افزایش انرژی جنبشی آن، چقدر است؟

* ۷ جسمی به جرم $3/0 \text{ kg}$ ، در حالی که روی یک تخت هوای افقی بی اصطکاک ساکن است، یک نیروی افقی ثابت \vec{F} در جهت مثبت محور x در راستای تخت هوا به آن وارد می شود. شکل ۷-۲۵ نمودار چند درخشی مکان جسم را در حال لغزیدن به سمت راست نشان می دهد. نیروی \vec{F} در زمان $t = 0$ به جسم وارد شده است و نمودار، مکان جسم را در بازه های زمانی $0/50$ ثانیه نمایش می دهد. نیروی وارد شده \vec{F} ، در مدت زمان بین $t = 0$ و $t = 2/0 \text{ s}$ چقدر کار روی جسم انجام داده است؟



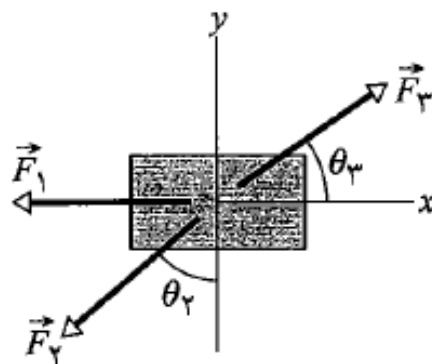
شکل ۷-۲۵ مسئله ی ۷.

*** ۵) انرژی جنبشی پدر دوندۀ ای نصف انرژی جنبشی پسرش با جرمی برابر با نصف جرم پدر است. پدر تندی اش را به اندازه 10 m/s افزایش می دهد و در نتیجه انرژی جنبشی او با انرژی جنبشی پسرش برابر می شود. تندی های آغازی (الف) پدر و (ب) پسر، چقدر است؟

(*) ۹ بزرگی تنها نیروی وارد شده به یک قوطی $2/0$ کیلوگرمی، که در صفحه‌ی xy حرکت می‌کند، $5/0\text{ N}$ است. قوطی دارای سرعت آغازی $4/0\text{ m/s}$ در جهت مثبت محور x و چند لحظه بعد، دارای سرعت $6/0\text{ m/s}$ در جهت مثبت محور y است. در این مدت نیروی $5/0$ نیوتونی چقدر کار روی قوطی انجام می‌دهد؟

تمرین

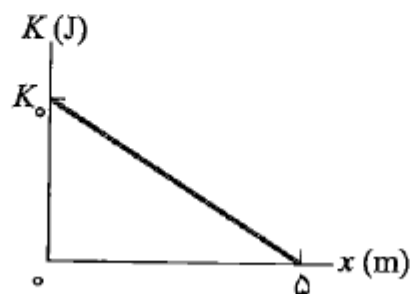
*** ۱۴ شکل ۲۷-۷ نمودار سه نیروی افقی را، با دید از بالا، نشان می‌دهد که به یک قوطی در حال سکون اثر می‌کنند و قوطی روی یک سطح افقی بی‌اصطکاک در حال حرکت است. نیروها دارای بزرگی $F_1 = 3100\text{ N}$ ، $F_2 = 4100\text{ N}$ و $F_3 = 1010\text{ N}$ و زاویه‌های نشان داده شده $\theta_2 = 50.1^\circ$ و $\theta_3 = 35.1^\circ$ هستند. کار خالص انجام شده توسط این نیروها روی قوطی در طی 4100 m نخست جابه‌جایی، چیست؟



شکل ۲۷-۷ مسئله‌ی ۱۴.

تمرین

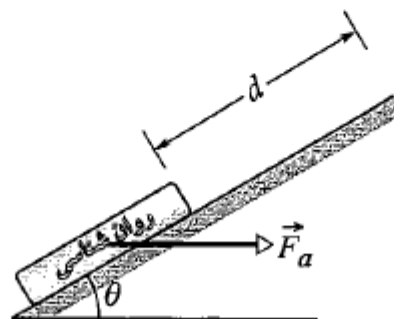
*** ۱۶ شیئی به جرم $۸/۰\text{ kg}$ در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند. این شیء در هنگام عبور از نقطه‌ی $x=۰$ تحت تأثیر یک نیروی ثابت در راستای محور قرار می‌گیرد. شکل ۷-۲۹ تغییرات انرژی جنبشی جسم K ، را بر حسب مکان x از $x=۰$ تا $x=۵/۰\text{ m}$ نشان می‌دهد و $K_۰ = ۳۰/۰\text{ J}$. در حالی که اثر نیرو ادامه دارد، هنگام برگشتن شیء به نقطه‌ی $x = -۳/۰\text{ m}$ تندی آن v ، چقدر است؟



شکل ۷-۲۹ مسئله‌ی ۱۶.

*** ۲۱ برای آنکه بتوانیم جسمی به جرم M را در راستای قائم با شتاب ثابت پایین سوی $g/4$ ببریم، از یک ریسمان استفاده می‌کنیم. پس از پایین آمدن جسم به اندازه‌ی d ، مطلوب است تعیین (الف) کار انجام شده توسط ریسمان روی جسم، (ب) کار انجام شده توسط نیروی گرانشی روی جسم، (پ) انرژی جنبشی جسم و (ت) تندی جسم.

۲۴ ** در شکل ۷-۳۳، نیروی افقی \vec{F}_a به بزرگی 2010 N به یک کتاب روان شناسی $3/00$ کیلوگرمی وارد می شود و کتاب مسافت $d = 0/500\text{ m}$ را به سمت بالای یک شیب راهی بی اصطکاک با زاویه $\theta = 30/0^\circ$ می پیماید. (الف) در طول این جابه جایی، کار خالص انجام شده توسط \vec{F}_a ، نیروی گرانشی و نیروی عمودی بر روی کتاب چقدر است؟ (ب) اگر انرژی جنبشی کتاب در لحظه ی آغاز جابه جایی صفر باشد تندی آن در پایان جابه جایی چقدر است؟



شکل ۷-۳۳ مسئله ی ۲۴.

* ۴۵ جسمی به جرم 100 kg به وسیله‌ی یک نیروی 122 نیوتونی، که راستایش در بالای افق زاویه‌ی 37° درجه می‌سازد، با تندی ثابت 5.0 m/s روی یک سطح افقی کشیده می‌شود. این نیرو با چه آهنگی روی جسم کار انجام می‌دهد؟

۴۷** ماشینی یک بسته ی ۴/۰ کیلوگرمی را از مکان آغازی $\vec{d}_i = (۰/۵۰\text{ m})\hat{i} + (۰/۷۵\text{ m})\hat{j} + (۰/۲۰\text{ m})\hat{k}$ در زمان $t = ۰$ به مکان پایانی $\vec{d}_f = (۷/۵۰\text{ m})\hat{i} + (۱۲/۰\text{ m})\hat{j} + (۷/۲۰\text{ m})\hat{k}$ در زمان $t = ۱۲$ می برد. نیروی ثابت وارد شده به بسته از سوی ماشین $\vec{F} = (۲/۰۰\text{ N})\hat{i} + (۴/۰۰\text{ N})\hat{j} + (۶/۰۰\text{ N})\hat{k}$ است. برای انجام دادن این جابه جایی، مطلوب است تعیین (الف) کار انجام شده روی بسته توسط نیروی ماشین و (ب) توان متوسط نیروی ماشین وارد شده به بسته.