

فیزیک مکانیک

فصل هفتم: انرژی جنبشی و کار

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

- این مجموعه درس در ایام همه گیری کرونا در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۹ و با سرعتی بیش از حد معمول تهیه شده است؛ بنابراین، امکان وجود اشتباهات در این ارائه وجود دارد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:

h.shenavar@gmail.com

فصل هفتم: انرژی جنبشی و کار

- انرژی و انرژی جنبشی
- کاریگ نیرو
- قضیه کار-انرژی جنبشی

آنچه گذشت...

قوانین نیرو: این قوانین، مقدار و جهت نیروی وارد شده بر یک جسم را در شرایط مختلف و با استفاده از آزمایش های دقیق بیان می کنند.

قانون گرانش نیوتن برای دو جرم نقطه ای:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قانون کولن برای دو بار نقطه ای:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

قانون هوک برای جرم متصل به فنر

$$F = -kx$$

نیروی عمودی سطح، کشش نخ، نیروی ارشمیدس و ...

این دو دسته قانون، طیف بسیار گسترده ای از پدیده های فیزیکی را به درستی توضیح می دهند.

قوانین حرکت:
یکی از راه های نوشتن قوانین حرکت، استفاده از سه قانون حرکت نیوتن است. این شکل از علم مکانیک کلاسیک را مکانیک نیوتنی می نامند. نوشتن قوانین مکانیک به شکل های دیگر، مانند مکانیک لاگرانژی، هامیلتونی و ... هم ممکن است.

ما در این کتاب مکانیک نیوتنی را بررسی خواهیم کرد.

قانون اول: وقتی برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم حالت حرکت خود را حفظ خواهد کرد. یعنی اگر ساکن باشد، ساکن خواهد ماند و اگر با سرعت در حال حرکت باشد، با همان سرعت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: رابطه شتاب و نیرو

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس العملی است، با مقدار مساوی و در جهت خلاف آن

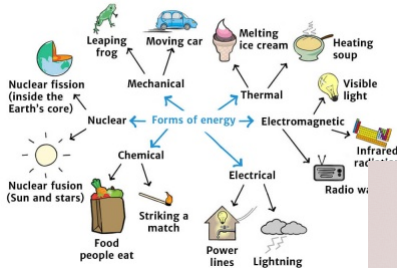
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

قوانین نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار هستند.

پرسش: آیا می توان مکانیک را فقط برحسب کمیت های اسکالر بازنویسی کرد؟

انرژی توانایی انجام کار است.

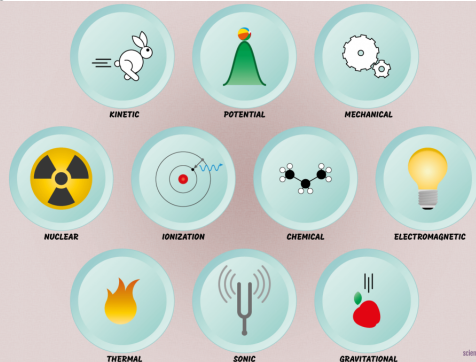
Types of Energy



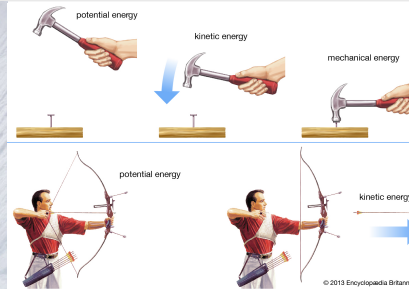
صورت های متفاوتی از انرژی وجود دارند (به این شکل ها دقت کنید).
ما در این کتاب چند مورد از ساده ترین ها (انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل،
انرژی مکانیکی و ...) را بحث خواهیم کرد.

شکل ها از

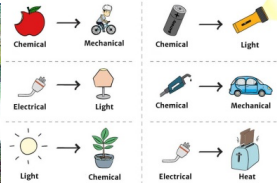
www.solarschools.net/
<https://sciencenotes.org/>



صورت های مختلف انرژی را می توان به یکدیگر تبدیل کرد.



Energy Conversion



© 2013 Encyclopædia Britannica

انرژی جنبشی



Courtesy Library of Congress

اجسام متحرک می توانند بقیه اجسام را به حرکت وادار کنند؛ بنابراین توانایی انجام کار دارند. این شکل از انرژی را انرژی جنبشی می نامند:

Kinetic Energy

فیلم مربوطه را ببینید.

اگر جسمی به جرم m با سرعت v در حال حرکت باشد، انرژی جنبشی آن برابر است با

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

واحد SI انرژی جنبشی، و هر نوع دیگر انرژی، ژول نام دارد:

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

در سال ۱۸۹۶ دو لوکوموتیو که در ابتدا در فاصله ۶٫۴ کیلومتری از هم قرار داشتند، به سمت هم به حرکت درآورده شده و با هم برخورد داده شدند. فرض کنید که وزن هر لوکوموتیو برابر 10^6 N بوده و شتاب متوسط آنها 0.26 m/s^2 بوده است. انرژی جنبشی کل دو لوکوموتیو دقیقاً قبل از برخورد چقدر بوده است؟ پاسخ: جرم هر لوکوموتیو

$$m = \frac{1.2 \times 10^6 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2} = 1.22 \times 10^5 \text{ J}$$

سرعت هرکدام از لوکوموتیوها قبل از برخورد (حرکت شتاب ثابت):

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \Rightarrow v = \sqrt{2 \times 0.26 \times 3.2 \times 10^3}$$

$$v = 40.8 \text{ m/s} \quad \text{سرعت هر لوکوموتیو:}$$

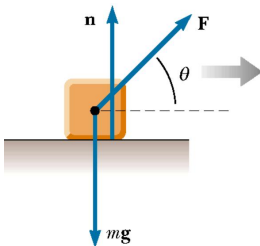
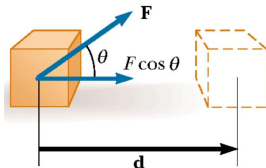
انرژی جنبشی کل دقیقاً قبل از برخورد:

$$K = K_1 + K_2 = 2K_1 = 2 \times \frac{1}{2}mv^2$$

$$K = 1.22 \times 10^5 \times (40.8)^2 = 2.0 \times 10^8 \text{ J}$$

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

کار یک نیروی ثابت



کار، انرژی منتقل شده از یک جسم (و یا به یک جسم) توسط نیروی عمل کننده بر آن جسم است. انرژی منتقل شده به جسم مثبت و انرژی منتقل شده از جسم منفی محسوب می شود.

فقط مولفه در جهت جابه جایی نیرو در مقدار کار موثر است.

تعریف دقیق کار: اگر نیروی "ثابت" $\vec{F}$ در مسیری به طول d بر جسم وارد شود، آنگاه کار (Work) انجام شده توسط نیروی ثابت برابر است با

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

لطفاً مفهوم ضرب داخلی (اسکالر) دو بردار را از فصل سوم مرور کنید.

به چند نکته زیر دقت کنید:

۱ اگر جابه جایی صفر باشد، کاری انجام نخواهد شد.

۲ اگر مجموع نیروهای وارد شده بر جسم صفر شود، کار کل انجام شده صفر خواهد بود.

۳ اگر نیرو و جابه جایی بر هم عمود باشند، کار انجام شده صفر است. مثلاً کار نیروی عمود بر سطح و نیروی گرانش در شکل پایین صفر است.

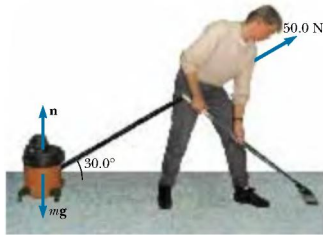
کار نیروی مغناطیسی وارد بر یک ذره باردار همیشه صفر است.

۴ بیشترین کار وقتی رخ می دهد که نیروی وارد شده و جابه جایی هم جهت باشند. کم ترین کار؟

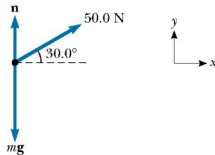
۵ تعریف کار نیروی غیر ثابت را در ادامه خواهیم دید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

مثال از کار نیروی ثابت



(a)



(b)

فردی مشغول جارو کردن زمین است و جاروبرقی را با نیروی $F = 50.0 \text{ N}$ تحت زاویه 30° می کشد. اگر جاروبرقی سه متر جابه جا شود، کار کل انجام شده بر روی جاروبرقی را محاسبه کنید.

پاسخ:

کار نیروهای گرانش و نیروی عمودی صفر است زیرا این دو بر مسیر حرکت در این مساله عمود هستند:

$$W_n = \vec{n} \cdot \vec{d} = n d \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

$$W_{mg} = m\vec{g} \cdot \vec{d} = mgd \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

کار نیروی F غیر صفر است:

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{d} = F d \cos \theta = F d \cos \frac{\pi}{6} = 50 \times 3 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 130 \text{ J}$$

بنابراین کار کل انجام شده بر روی جارو برقی در جابه جایی سه متری برابر است با:

$$W_{tot} = W_n + W_{mg} + W_F = 130 \text{ J}$$

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

کار نیروی متغیر

کار نیروی متغیر تعمیمی از کار نیروی ثابت است.

نیروی یک بعدی در جهت محور x را در نظر بگیرید که x تغییر می کند. برای اینکه کار کل این نیروی متغیر را محاسبه کنیم، محور افقی نمودار نیرو-مکان را به جابه جایی های بسیار کوچک Δx تجزیه می کنیم. چون جابه جایی ها بسیار کوچکتند، نیرو را می توان در فاصله Δx ثابت فرض کرد. کار بسیار کوچک انجام شده در این فاصله کوچک برابر است با

$$\Delta W = F_x \Delta x$$

به همین صورت می توان کار را در بازه های دیگر نیز محاسبه کرد. بنابراین، کار کل برابر است با

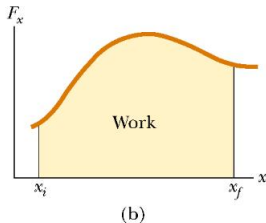
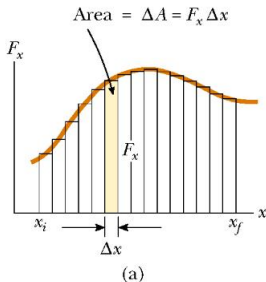
$$W \simeq \sum_{i=1}^N F_{x,i} \Delta x$$

که در آن i شماره بازه و N تعداد بازه هاست. برای اینکه این مجموع دقیق تر شود، باید بازه ها را تا حد امکان کوچک تر کنیم (و یا N را تا حد امکان افزایش دهیم). چنین حدی را انتگرال می نامند:

$$W = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N F_{x,i} \Delta x \equiv \int F(x) dx$$

برای آشنایی بیشتر با مفهوم انتگرال به مجموعه درس "حسابان برای فیزیک" مراجعه کنید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



کار نیروی متغیر؛ کار فنر

یادآوری قانون هوک: نیروی فنر (*spring*) با جابه جایی ایجاد شده در فنر متناسب بوده و جهت نیرو در خلاف جهت جابه جایی است:

$$F = -kx$$

ثابت k را ثابت فنر می نامند. نیروی فنر یک نیروی متغیر با مکان است.

برای پیدا کردن کار نیروی فنر، در واقع باید مساحت زیر نمودار نیرو-مکان را بیابیم (قسمت رنگ شده در نمودار پایین). فرض کنید که جسم متصل به فنر از نقطه اولیه x_i به نقطه نهایی x_f منتقل می شود. در این صورت، بنا به اسلاید قبل، کار این نیروی متغیر با مکان برابر است با

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} F dx = \int_{x_i}^{x_f} (-kx) dx$$

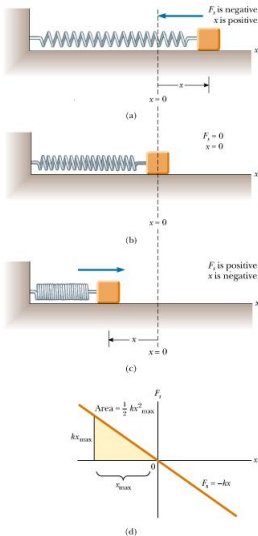
بنابراین داریم:

$$W_s = -k \int_{x_i}^{x_f} (x) dx = -k \left[\frac{x^2}{2} \right]_{x_i}^{x_f}$$

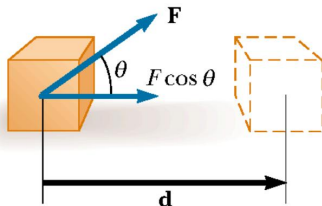
و یا

$$W_s = -\frac{k}{2} (x_f^2 - x_i^2)$$

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



اثبات قضیه کار-انرژی جنبشی



قضیه کار-انرژی جنبشی: تغییر در انرژی جنبشی یک جسم بر روی یک مسیر مشخص برابر است با کار کل انجام شده توسط همه نیروهای عمل کننده بر جسم:

$$W_t = \sum W_i = \Delta K = K_f - K_i$$

اثبات: درستی این قضیه در یک بعد را نشان می دهیم. بنا به قانون دوم نیوتن داریم:

$$\sum_i F_{x,i} = ma_x$$

در این صورت کار کل انجام شده برابر است با:

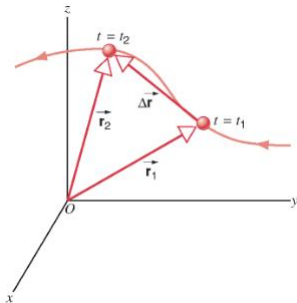
$$\begin{aligned} W_t &= \sum W_i = \int_{x_i}^{x_f} \sum_i F_{x,i} dx = \int_{x_i}^{x_f} ma_x dx \\ &= m \int_{x_i}^{x_f} \frac{dv}{dt} dx = m \int_{x_i}^{x_f} v \frac{dv}{dx} dx = m \int_{v_i}^{v_f} v dv \\ &= m \left[\frac{v^2}{2} \right]_{v_i}^{v_f} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = K_f - K_i \end{aligned}$$

در سطر دوم از رابطه زیر استفاده کرده ایم:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}$$

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

تعمیم تعریف کار در سه بعد و شکل کلی قضیه کار-انرژی جنبشی در فضا



فرض کنید که جسمی در فضا (سه بعد) حرکت می کند و نیروی کلی $\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k}$ به آن وارد می شود. در این صورت کار بسیار کوچک انجام شده در مسیر $d\vec{r} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$ برابر است با:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

و کار کل از نقطه اولیه $\vec{r}_i$ تا نقطه نهایی $\vec{r}_f$ برابر است با:

$$\begin{aligned} W &= \int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} \vec{F} \cdot d\vec{r} \\ &= \int_{x_i}^{x_f} F_x dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z dz \end{aligned}$$

تمرین: با استفاده از تعریف کار در سه بعد، قضیه کار-انرژی جنبشی را به صورت کلی (در سه بعد) اثبات کنید:

$$W_t = \sum W_i = \int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} \sum_i \vec{F}_i \cdot d\vec{r} = \int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} m \vec{a} \cdot d\vec{r} = \dots$$

$$\dots = \frac{1}{2} m \vec{v}_f^2 - \frac{1}{2} m \vec{v}_i^2 = \Delta K$$

شکل از فیزیک هالیدی، ویرایش پنجم.

کار انجام شده توسط نیروی گرانش در نزدیکی سطح زمین

● شتاب گرانش در نزدیکی سطح زمین تقریباً ثابت است:

$$F_g = mg$$

● اگر جسم به سمت بالا حرکت کند (شکل مقابل)، آنگاه بردار جابه جایی آن و بردار نیروی گرانشی در خلاف جهت هم هستند. بنابراین:

$$W_g = m\vec{g} \cdot \vec{d} = mgd \cos \pi$$

و یا

$$W_g = -mgd$$

اگر جسم را به سمت بالا پرتاب کنیم، نیروی گرانشی روی جسم کار منفی انجام داده و انرژی جنبشی جسم کاهش پیدا می‌کند. این البته در صورتی است که نیروی دیگری به جسم وارد نشود.

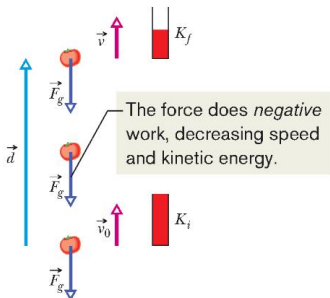
● اگر جسم به سمت پایین حرکت کند، آنگاه بردار جابه جایی آن و بردار نیروی گرانشی در جهت هم هستند. بنابراین:

$$W_g = m\vec{g} \cdot \vec{d} = mgd \cos 0$$

و یا

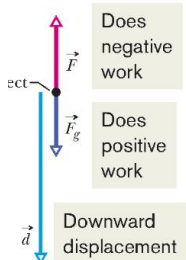
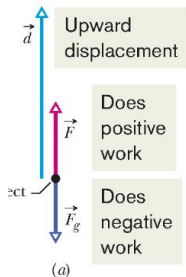
$$W_g = mgd$$

اگر جسم را از بالا رها کنیم، نیروی گرانشی روی جسم کار مثبت انجام داده و انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد. این البته در صورتی است که نیروی دیگری به جسم وارد نشود.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

چگونگی تعیین کار انجام شده توسط نیروهای ناشناخته (مثل نیروی دست)



برخی نیروها را نمی توان در حالت کلی تعیین کرد. یک مثال خوب از این نوع نیروها، نیروی دست است. نیروی وارد شده توسط دست افراد مختلف در شرایط گوناگون متفاوت است.

اگر نتوان نیرو را به صورت کلی تعیین کرد، تعیین کار نیرو هم مشکل خواهد بود. هرچند، با استفاده از قضیه کار-انرژی جنبشی راهی برای تعیین کار وجود دارد.

فرض کنید که جسمی را توسط نیروی دست به سمت بالا می بریم (شکل بالا). جسم در ابتدا ساکن بوده و در انتها هم ساکن خواهد بود. بنابراین داریم:

$$W_{tot} = W_F + W_g = \Delta K = K_f - K_i = 0$$

$$\Rightarrow W_F = -W_g = mgd$$

یعنی می توان کار نیروی ناشناخته دست را، به شرط اینکه سرعت اولیه و نهایی جسم معلوم باشد، به دست آورد.

حال فرض کنید که جسم را توسط نیروی دست به سمت پایین می بریم (شکل پایین). جسم در ابتدا ساکن بوده و در انتها هم ساکن خواهد بود. بنابراین داریم:

$$W_{tot} = W_F + W_g = \Delta K = K_f - K_i = 0$$

$$\Rightarrow W_F = -W_g = -mgd$$

یعنی در این حالت نیز می توان کار نیروی ناشناخته دست را تعیین کرد.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

کار نیروی گرانش در فواصل زیاد

نیروی گرانش در فواصل دور با مکان تغییر می کند: $F = G \frac{Mm}{x^2}$
کار انجام شده توسط نیروی گرانش بر روی جسم m وقتی که این جسم از نقطه a به نقطه b تغییر مکان می دهد را بیابید.

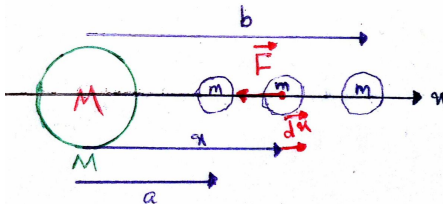
نیروی گرانش F و جابه جایی dx در خلاف جهت هم قرار دارند؛ بنابراین

$$W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_a^b G \frac{Mm}{x^2} dx \cos \pi$$

$$W = -GMm \int_a^b \frac{dx}{x^2} = -GMm \left[-\frac{1}{x} \right]_a^b$$

$$W = \frac{GMm}{b} - \frac{GMm}{a}$$

این نتیجه را بعداً در بحث پتانسیل استفاده خواهیم کرد.



توان



توان ناشی از یک نیرو عبارت است از آهنگی که نیرو بر روی جسم کار انجام می دهد.

اگر نیروی مورد نظر، کار W را در بازه Δt انجام دهد، توان متوسط ناشی از نیرو برابر است با

$$\bar{P} \equiv \frac{W}{\Delta t}$$

توان لحظه ای عبارت است از آهنگ لحظه ای انجام کار:

$$P \equiv \frac{dW}{dt}$$

اگر جسمی با سرعت $\vec{v}$ در حال حرکت باشد و نیروی $\vec{F}$ بر آن عمل کند، آنگاه

$$P \equiv \frac{dW}{dt} = \frac{F \cos \theta dx}{dt} = F \cos \theta \frac{dx}{dt} = Fv \cos \theta$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad \text{و یا}$$

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی انرژی، کار، انرژی جنبشی و قضیه کار-انرژی جنبشی را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ انرژی چیست؟
- ۲ انرژی جنبشی چیست؟
- ۳ کار چیست؟ کار یک نیرو در چه شرایطی صفر خواهد شد؟
- ۴ کار نیروی گرانش در نزدیکی سطح زمین چقدر است؟
- ۵ کار نیروهای متغیر چگونه محاسبه می شود؟
- ۶ کار نیروی فنر چگونه است؟
- ۷ قضیه کار-انرژی جنبشی را بیان کنید.
- ۸ کار نیروهای نامعلوم را چگونه می توان با استفاده از قضیه کار-انرژی جنبشی تعیین کرد؟
- ۹ توان متوسط و توان لحظه ای را تعریف کنید.

اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراغوش نکنیم که بهترین راه برای درک و ”درونی سازی“ مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.



تمرین

قطعه‌ای به جرم $m = ۰/۸ kg$ به صورت عمودی با فنری با ثابت فنر $k = ۲۰۰ N/m$

برخورد کرده و فنر را به اندازه $h = ۰/۸ m$ فشرده می‌کند. در حین فشرده شدن فنر الف)

کار نیروی گرانش چقدر است؟

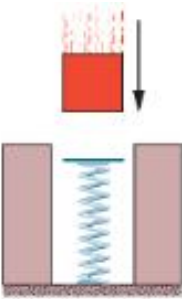
ب) کار نیروی فنر چقدر است؟

پ) سرعت جرم در لحظه برخورد به فنر چقدر بوده است؟

ت) اگر این سرعت دو برابر شود فنر چقدر فشرده می‌شود؟

توجه: از اصطکاک صرف نظر کنید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



تمرین

قطعه ای به جرم $m = 0.5 \text{ kg}$ با سرعت $v_0 = 6 \text{ m/s}$ به صورت عمودی با فتری با ثابت فنر $k = 100 \text{ N/m}$ برخورد میکند و فنر را به اندازه h فشرده می کند. بر حسب پارامتر h

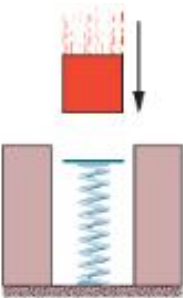
الف) کار نیروی گرانش چقدر است؟

ب) کار نیروی فنر چقدر است؟

پ) با استفاده از قضیه کار-انرژی جنبشی مقدار h را بیابید.

ت) اگر سرعت اولیه سه برابر شود، مقدار فشرده شدن فنر چقدر خواهد بود. توجه: از اصطکاک صرف نظر کنید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

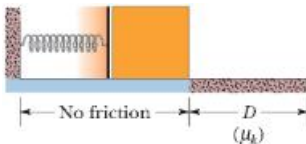


تمرین

قطعه ای به جرم $m = 4 \text{ kg}$ در ابتدا با فنری که به اندازه l فشرده شده است متصل است. ثابت این فنر $k = 800 \text{ N/m}$ می باشد. قطعه را رها میکنیم. پس از آنکه قطعه از فنر جدا می شود وارد یک سطح افقی با ضریب اصطکاک $\mu_k = 0.3$ می شود و به اندازه $D = 5 \text{ m}$ روی این سطح حرکت میکند تا سرانجام اصطکاک باعث توقف آن شود.

- الف) کار نیروی اصطکاک در این فاصله D چقدر است؟
ب) سرعت قطعه وقتی وارد سطح با اصطکاک می شود چقدر بوده است؟
پ) فشردگی اولیه فنر l چقدر بوده است؟

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



تمرین

قطعه ای به جرم $m = 2 \text{ kg}$ به فنری با ثابت فنر $k = 400 \text{ N/m}$ برخورد میکند.

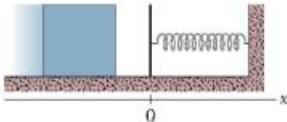
وقتی که بالاخره قطعه متوقف می شود فنر به اندازه $d = 0.5 \text{ m}$ فشرده شده است. ضریب اصطکاک جنبشی بین قطعه و سطح برابر $\mu_k = 0.25$ می باشد.

الف) کاری که نیروی اصطکاک در این فاصله انجام می دهد چقدر است؟

ب) فنر چقدر کار انجام می دهد؟

پ) سرعت قطعه در هنگام برخورد با فنر چقدر بوده است؟

شکل از ویرایش هشتم هالیدی.



تمرین

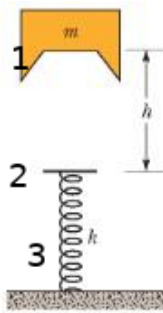
قطعه ای به جرم $m = 2 \text{ kg}$ از ارتفاع $h = 5 \text{ m}$ روی فنی با ثابت فنر $k = 2000 \text{ N/m}$ می افتد.

الف) قضیه کار و انرژی جنبشی را بین نقاط ۱ و ۲ بنویسید و سرعت قطعه دقیقاً قبل از برخورد با فنر را بیابید.

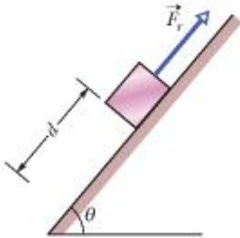
قطعه با فنر برخورد می کند و فنر را به اندازه l فشرده می کند تا سرانجام ثابت شود.

ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی جنبشی بین نقاط ۲ و ۳، میزان فشردگی فنر l را بیابید.

شکل از سرز.



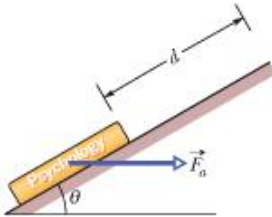
تمرین



- قطعه ای به جرم $m = 2 \text{ kg}$ که در ابتدا ساکن است، توسط نیروی ثابت $F_r = 1000 \text{ N}$ به اندازه $d = 3.5 \text{ m}$ به بالای سطح هل داده می شود. ضریب اصطکاک جنبشی بین قطعه و سطح شیب دار برابر $\mu_k = 0.35$ و $\theta = 30^\circ$ می باشد. در فاصله d
 - کار نیروی گرانش چقدر است؟
 - کار نیروی اصطکاک چقدر است؟
 - کار نیروی F_r چقدر است؟
 - با استفاده از قضیه کار - انرژی جنبشی سرعت قطعه در انتهای فاصله d را بیابید.

- شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

تمرین



● قطعه ای به جرم $m = 1 \text{ kg}$ که در ابتدا ساکن است، توسط نیروی ثابت $F_a = 500 \text{ N}$ به اندازه $d = 4 \text{ m}$ به بالای سطح هل داده می شود. ضریب اصطکاک جنبشی بین قطعه و سطح شیب دار برابر $\mu_k = 0.15$ و $\theta = 6^\circ$ می باشد. در فاصله d الف) کار نیروی گرانش چقدر است؟ ب) کار نیروی اصطکاک چقدر است؟ پ) کار نیروی F_a چقدر است؟ ت) با استفاده از قضیه کار - انرژی جنبشی سرعت قطعه در انتهای فاصله d را بیابید.

● شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

مبحث بعدی: ادامه حل مساله حرکت با استفاده از کمیت های اسکالر



- در ادامه حل مساله حرکت با استفاده از کمیت های اسکالر، در جلسه آینده دو کمیت اسکالر انرژی پتانسیل و انرژی مکانیکی را تعریف می کنیم. همچنین، با مفهوم نیروهای پایستار آشنا شده و قضیه پایستگی انرژی مکانیکی کل را اثبات می کنیم.
- نکته مهم دیگر بحث تعادل های پایدار و ناپایدار است که آنها را از نمودارهای انرژی پتانسیل تعیین خواهیم کرد.
- شکل از مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.

مراجع

- ❶ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❷ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❸ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❹ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

کلاس های دیگر فیزیک مکانیک

کلاس های درس فیزیک یک دانشگاه صنعتی شریف (مثلا کلاس درس دکتر محمد رضا اجتهادی و یا دکتر محمود بهمن آبادی) را می توانید از مرکز آموزش های الکترونیک دانشگاه صنعتی شریف (و یا حتی از سایت مکتب خونه) دریافت کنید.
<http://ocw.sharif.edu/>

کلاس درس دکتر والتر لوین از دانشگاه MIT در مرکز آموزش های الکترونیک این دانشگاه و یوتیوب:
<https://ocw.mit.edu/index.htm>
<https://www.youtube.com/watch?v=X9c0MRooBzQ>

با سپاس از توجه شما