

فیزیک مکانیک

فصل پنجم: نیرو و حرکت ۱

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:

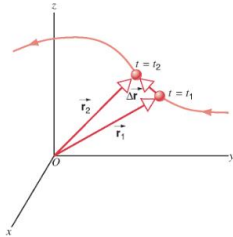
h.shenavar@gmail.com

فصل پنجم: نیرو و حرکت ۱

- قوانین حرکت نیوتن
- قوانین نیرو



آنچه گذشت...



بردار موقعیت $\vec{r}$ و بردار جابه جایی $\Delta \vec{r}$:

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\hat{i} + (y_2 - y_1)\hat{j} + (z_2 - z_1)\hat{k}$$

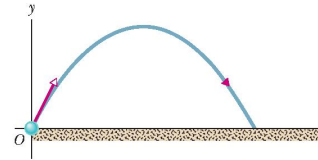
بردار سرعت لحظه ای $\vec{v}$:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \equiv \frac{d}{dt} \vec{r}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \hat{i} + \frac{dy(t)}{dt} \hat{j} + \frac{dz(t)}{dt} \hat{k}$$

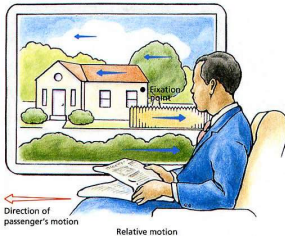
بردار شتاب لحظه ای $\vec{a}$:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \equiv \frac{d}{dt} \vec{v}(t) = \frac{dv_x(t)}{dt} \hat{i} + \frac{dv_y(t)}{dt} \hat{j} + \frac{dv_z(t)}{dt} \hat{k}$$

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



حرکت نسبی و دستگاه های لخت



شتاب در دو دستگاه مختصات S و S' که به صورت خطی نسبت به هم حرکت می کنند، به صورت مقابل به هم مربوط می شوند:

$$\vec{a}_{PS} = \vec{a}_{PS'} + \vec{a}_{S'S}$$

اگر دو دستگاه S و S' با سرعت ثابتی نسبت به هم حرکتی کنند، یعنی $\vec{a}_{S'S} = \vec{0}$ ، آنگاه:

$$\vec{a}_{S'S} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_{PS} = \vec{a}_{PS'}$$

یعنی شتاب های اندازه گیری شده توسط هر دو ناظر S و S' برابر خواهند بود. بنابراین، اگر یکی از این ناظرها دستگاه لخت محسوب شود، ناظر دیگر نیز دستگاه لخت خواهد بود. پس با شناخت یک دستگاه لخت می توان دستگاه های لخت دیگر را نیز شناسایی کرد.

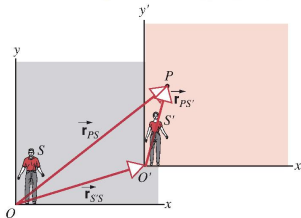
دستگاه لخت دستگاهی است که قانون اول نیوتن در آن صادق باشد. یعنی اگر نیرویی به جسم وارد نشود، جسم حالت حرکت خود را حفظ کند.

اهمیت دستگاه های لخت: معادلات فیزیک نیوتنی در دستگاه های لخت شکل یکسانی دارند.

اگر سعی کنیم که مکانیک مورد نظر خود را در دستگاهی غیر لخت بنویسیم، آنگاه جملاتی از جنس $m\vec{a}_{S'S}$ در معادلات ظاهر می شوند. این جملات را اصطلاحاً نیروهای مجازی می نامند (مثل نیروی مرکزگریز، نیروی کوریولی و ...). نکته مهم این است که اینها نیرو نیستند (یعنی ربطی به برهمکنش جسم با محیط اطراف ندارند) بلکه به دلیل لخت بودن دستگاه انتخابی ما ظاهر شده اند.

هیچ دستگاه دقیقاً لختی وجود ندارد؛ همه دستگاه های لخت با تقریب مناسب مساله لخت محسوب می شوند (اسلاید بعد را ببینید).

شکل بالا از *rhsmpsychology* و شکل پایین از فیزیک هالیدی، ویرایش پنجم.



اصول موضوعه مکانیک کلاسیک: قوانین حرکت (سه قانون نیوتن) و قوانین نیرو (هوک، گرانش و ...)

● 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

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

● سه قانون بالا فقط در دستگاه های لخت برقرارند.

● در فصل های پنجم و ششم می خواهیم قوانین حرکت (بالا و قوانین نیرو (سمت چپ) را با تفصیل بیشتری بررسی کنیم و شیوه استفاده از آنها را فرا بگیریم.

● 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:

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

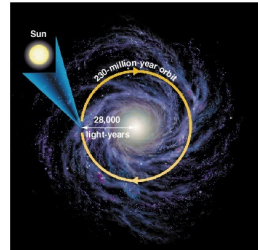
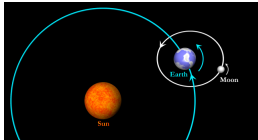
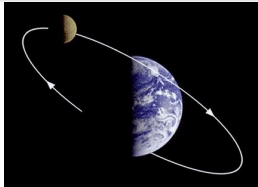
● قانون هوک برای جرم متصل به فنر

$$F = -kx$$

● 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.

قانون اول نیوتن



قانون اول نیوتن: در یک دستگاه لخت، اگر نیروی کل وارده به یک جسم برابر صفر باشد، آنگاه سرعت جسم تغییری نمی‌کند؛ به بیان دیگر، جسم شتاب نخواهد داشت.

در ابتدا به نظر می‌رسد که قانون اول نیوتن را می‌توان به راحتی با استفاده از قانون دوم نیوتن به دست آورد. بنابراین چرا باید آن را به عنوان یک قانون مستقل معرفی کرد؟

پاسخ این سوال در این نکته نهفته است که در واقع قانون اول نیوتن وظیفه معرفی دستگاه های لخت را برعهده دارد:

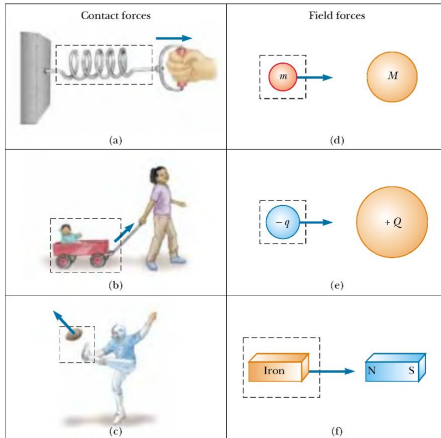
دستگاه لخت دستگاهی است که قانون اول نیوتن در آن برقرار باشد. یعنی اگر به جسم نیرویی وارد نشود و جسم شتاب نگیرد آنگاه ناظر (دستگاه) توصیف کننده جسم لخت محسوب می‌شود.

با تشخیص دستگاه لخت، می‌توان قانون دوم و سوم نیوتن را به صورت صحیح بیان کرد و فهمید.

همانطور که گفته شد همه دستگاه های مختصات فقط به صورت تقریبی لخت هستند.

برای درک مفهوم دستگاه های لخت به درس جلسه قبل مراجعه کنید (مخصوصا مثال کاربردی و بحث آن).

قانون دوم نیوتن



قانون دوم نیوتن: در دستگاه های لخت، نیروی کل وارده بر یک جسم در هر جهت برابر است با حاصلضرب جرم جسم در شتاب آن در همان جهت

$$\vec{F}_{tot} = \sum F = m\vec{a}$$

$\vec{F}_{tot}$ نیروی کل را نشان می دهد. قانون دوم نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار است.

قانون دوم نیوتن یک رابطه برداری است؛ یعنی در هر سه جهت فضا برقرار است:

$$F_{tot, x} = ma_x, \quad F_{tot, y} = ma_y, \quad F_{tot, z} = ma_z$$

هدف نهایی قانون دوم نیوتن، پیدا کردن شتاب است؛ زیرا اگر شتاب را داشته باشیم، می توانیم با انتگرال گیری سرعت و موقعیت جسم در هر لحظه از زمان را بیابیم. یعنی مساله حرکت حل می شود.

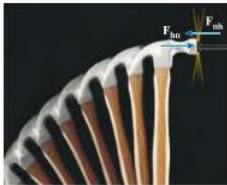
ولی برای حل قانون دوم نیوتن، ما باید نیروهای وارده بر جسم از طرف محیط اطراف را بشناسیم؛ یعنی بتوانیم برهمکنش جسم با محیط اطراف را مدل سازی کنیم. این موضوع را در بخش بعد (قوانین نیرو) فرا خواهیم گرفت.

واحد نیرو در SI برابر $kg \cdot m/s^2$ می باشد که آن را نیوتن می نامند:

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

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

قانون سوم نیوتن

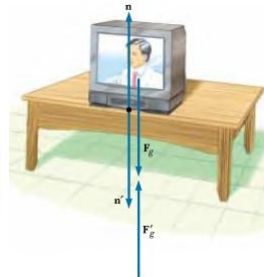
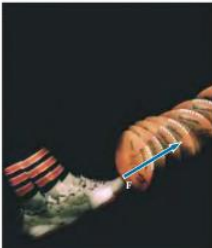
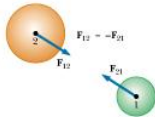


در دستگاه های لخت، اندازه نیروی وارد شده از طرف هر ۱ به جسم ۲ برابر است با اندازه نیروی وارد شده از طرف جسم ۲ به جسم ۱؛ جهت نیروها عکس هم هستند:

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

مثال های زیر را ببینید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش های هشتم و دهم.



جرم و اندازه گیری جرم

جرم یک ویژگی ذاتی (و بنابراین مستقل از محیط) جسم است.

جرم کمیتی اسکالر است در حالی که وزن کمیتی برداری است. این دو را از هم تفکیک کنید.

به چند روش می توان جرم را اندازه گرفت که یکی از آنها ترازو (استفاده از قوانین تعادل استاتیکی) است. شکل زیر را ببینید.

روش دیگر اندازه گیری جرم: فرض کنید که نیروی مشخص F به جرم استاندارد m_s وارد می شود و باعث شتاب a_s می شود. در این صورت، اگر اعمال نیروی F به یک جرم مجهول m_X باعث شتاب معلوم a_X شود، داریم

$$F = F \Rightarrow m_s a_s = m_X a_X \mapsto m_X = m_s \frac{a_s}{a_X}$$

شکل از thefactfactor.com



Compression Balance



Postal Balance



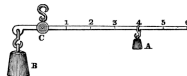
Table Balance



Spring Balance



Platform Balance

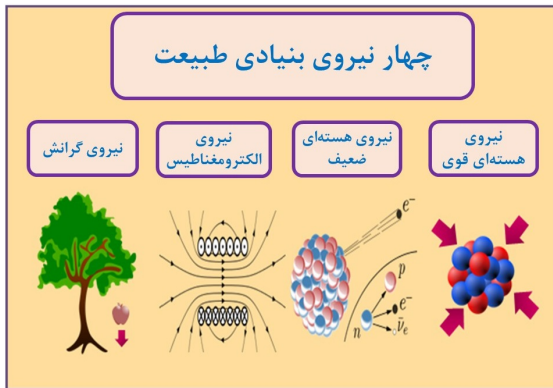


Roman Steelyard Balance



Electronic Balance

چهار نیروی بنیادی طبیعت



تا کنون ثابت شده است که تمام برهمکنش‌ها در طبیعت را می‌توان با چهار نیروی بنیادی توصیف کرد.

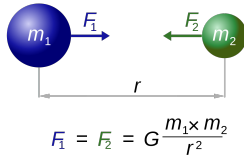
نیروی هسته‌ای قوی (مسئول پایداری هسته‌ها) و نیروی هسته‌ای ضعیف (مسئول واپاشی هسته‌ها) را ما در اینجا بحث نخواهیم کرد.

به جز نیروی گرانش، بقیه نیروی‌های روزمره (مانند کشش نخ، نیروی فنر، نیروی واکنش سطح، نیروی اصطکاک، نیروی پसार و ...) نمودی از برهمکنش‌های الکترومغناطیسی هستند. یعنی در نتیجه برهمکنش الکترومغناطیسی مولکول‌ها و اتم‌ها با همدیگر به وجود می‌آیند.

در فصل‌های پنجم و ششم ما با تعدادی از این نیروها آشنا خواهیم شد و یاد خواهیم گرفت که چگونه می‌توان با استفاده از آنها، قوانین نیوتن را به کار برد.

شکل از نت.

نیروی گرانش



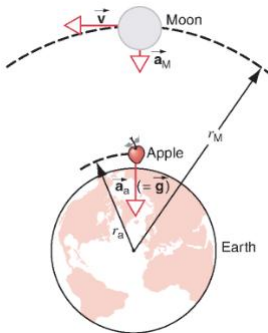
هر دو جسم به جرم m_1 و m_2 در جهان همدیگر را با نیروی

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

جذب می کنند. در اینجا r فاصله دو جسم و

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

ثابت گرانش جهانی نیوتن می باشد.



آزمایش های دقیق نشان داده اند که شتاب گرانش در نزدیکی سطح زمین تقریباً ثابت است و مقدار آن برابر $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ می باشد (اثبات این نکته با استفاده از قانون گرانش نیوتن نیز بسیار ساده است؛ به فصل دوم مراجعه کنید). بنابراین به هر جسم به جرم m در نزدیکی سطح زمین نیرویی برابر

$$F_g = W = m g$$

وارد می شود. این نیرو را نیروی وزن (*Weight*) می نامند (که طبیعتاً یک کمیت برداری و جهت دار است).

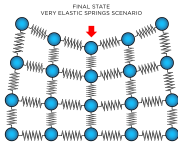
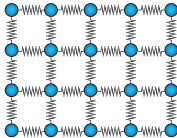
شتاب گرانش زمین در نزدیکی ماه بسیار کوچکتر از $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ است زیرا فاصله مرکز زمین تا ماه بسیار بزرگتر از فاصله مرکز زمین تا سیب است.

نکته اساسی: جهت شتاب گرانش ایجاد شده توسط کره زمین همیشه به سمت مرکز زمین است.

جرم یک کمیت اسکالر و ثابت است؛ از طرفی، وزن یک کمیت برداری و متغیر است. یعنی جرم من بر روی کره زمین و یا ماه ثابت است ولی وزن من تغییر می کند.

شکل ها از ویکی و ویرایش پنجم فیزیک هالیدی.

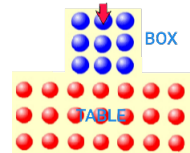
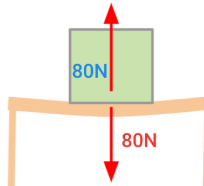
نیروی عمودی سطح



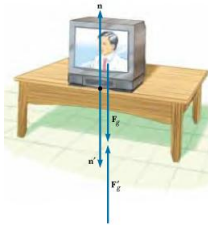
اگر جسمی بر روی یک سطح قرار بگیرد، برهمکنش آن جسم و سطح زیرین باعث یک نیروی عمود بر سطح خواهد شد. دلیل این نیرو، برهمکنش مولکول های جسم با مولکول های سطح است (یعنی نیروی عمودی سطح هم نوعی نیروی الکترومغناطیسی است).

به صورت مشخص، می توان سطح را به صورت مولکول هایی که به فاصله نزدیک از هم قرار گرفته اند، و نیروی بین آنها مانند نیروی فنر است، در نظر گرفت. قرار گرفتن هرگونه جسم رو سطح، باعث می شود که مولکول ها کمی از هم فاصله بگیرند و بنابراین این مجموعه فنری یک نیرو در جهت مخالف به جسم وارد می کند. مثال روزمره: برای فهم چگونگی کارکرد نیروی عمودی سطح، تخت فنری را در نظر بگیرید.

نیروی عمودی سطح را با N ، n یا f_N نشان می دهیم.
شکل ها از physics.stackexchange.com



رابطه نیروی عمودی و نیروی گرانش (وزن)



نیروی عمودی سطح نیرویی مستقل از نیروی گرانش است.

۱- نیروی عمودی سطح می تواند برابر نیروی گرانش باشد:

$$\sum F = ma \Rightarrow n - mg = 0 \Rightarrow n = mg$$

هرچند به این نکته دقت کنید که این دو نیرو به نقاط مختلفی وارد می شوند.

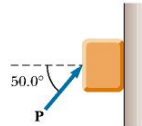
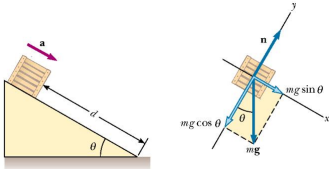
۲- نیروی عمودی سطح می تواند برابر ضریبی از نیروی گرانش باشد:

$$\sum F_y = ma_y \Rightarrow n - mg \cos \theta = 0 \Rightarrow n = mg \cos \theta$$

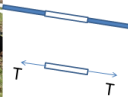
۳- نیروی عمودی سطح می تواند کمی با نیروی گرانش مرتبط باشد:

$$\sum F = ma \Rightarrow n - F_g - F = 0 \Rightarrow n = F_g + F$$

۴- و یا به عوامل دیگر مربوط باشد (دو شکل پایین را ببینید).
شکل ها از مبانی فیزیک، ویرایش های هشتم و دهم.



نیروی کشش نخ



نخ ها، طناب ها و کابل ها به خوبی نیرو را منتقل می کنند.

اگر نخ تغییر طول دهد (خاصیت ارتجاعی داشته باشد) آنگاه نیرو را می توان با استفاده از قانون هوک توصیف کرد؛ ولی نیرو در طول طناب دیگر ثابت نیست.

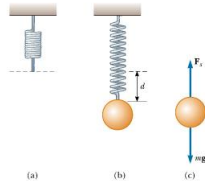
اگر جرم نخ قابل صرف نظر کردن نباشد، مقدار نیرو در طول نخ تغییر خواهد کرد؛ زیرا طناب به صورت مستقیم باقی نخواهد ماند. شکل زیر را ببینید.

در مسائل این کتاب ساده ترین حالت مربوط به نخ ها را در نظر می گیریم، یعنی حالتی که نخ بدون جرم است و خاصیت ارتجاعی (فنری) ندارد. تنها در این حالت است که می توانیم نتیجه بگیریم که نیروی کشش T در سرتاسر مقدار ثابتی دارد.

شکل بالا از ویکی، شکل های پایین از consordini.com و www.pngkit.com



مساله بسیار جالب فنر



بسیاری از پدیده های علمی و فنی، از برهمکنش بین مولکول ها تا نیروهای بزرگ مقیاس، را می توان با استفاده از روش بسیار ساده قانون فنر (قانون هوک) مدل سازی کرد. بنابراین، فهم این مدل از لحاظ فیزیکی می تواند بسیار راهگشا باشد.

همچنین، بسیاری از پدیده های روزمره تکرار شونده هستند و بنابراین از نظر ریاضیاتی شباهتهایی با رفتار نوسانی فنر دارند.

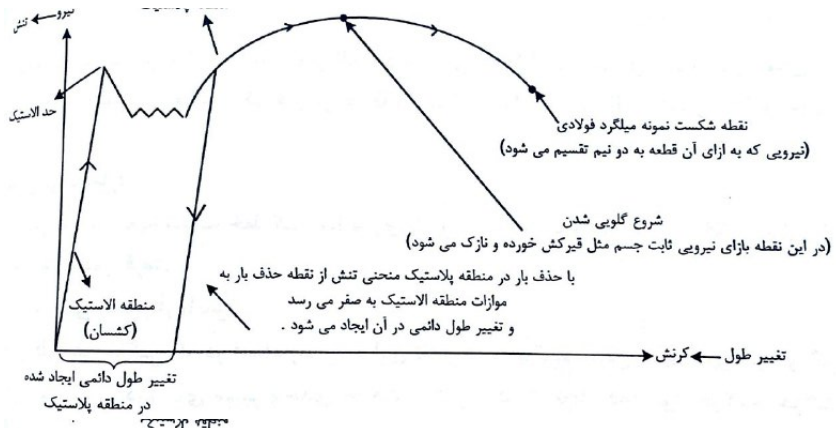
حل دقیق معادله حاکم بر یک فنر ایده آل بسیار ساده است؛ ولی، فترهای موجود در طبیعت معمولاً ایده آل نیستند. این گونه فنرهای غیر ایده آل را گاهی با رابطه تعمیم یافته

$$F = -kx + \alpha x^2 + \beta x^3 + \dots$$

توصیف می کنند. حل چنین معادله ای می تواند بسیار چالش برانگیز باشد.

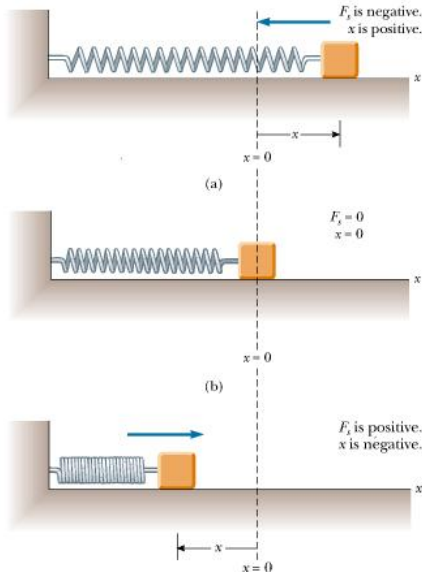
شکل ها از نت و هالیدی.

فیزیک فنر



شکل از کتاب آزمایشگاه فیزیک مکانیک، نوشته آقای محمد حقیقی.

قانون هوک



آزمایش ها نشان داده اند که:

وقتی فنر در حالت طبیعی خود قرار دارد هیچ نیرویی به جسم وارد نمی کند.

اگر فنر فشرده شده باشد، نیرویی در جهت عکس فشردگی خود به جسم وارد می کند.

اگر فنر حالت کشیده داشته باشد، نیرویی در جهت معکوس به جسم وارد می کند.

برای فنرهای ایده آل، می توان نیرو را به وسیله قانون هوک توصیف کرد:

$$F = -kx$$

بنا به این قانون، نیروی وارده از طرف فنر متناسب است با تغییر در طول فنر. علامت منفی نشان دهنده جهت معکوس نیروی فنر است.

ضریب k را ثابت فنر می نامند که واحد آن N/m می باشد.

فنر حرکتی نوسانی دارد و جواب معادله حرکت آن شامل توابع سینوس و کسینوس است. چرا؟

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

نکات مهم این درس

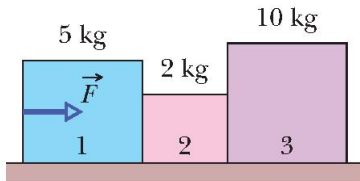
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی قوانین نیوتن و قوانین نیرو را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ قانون اول نیوتن را بیان کنید و شرط اساسی برقراری آن را توضیح دهید.
 - ۲ کارکرد اصلی قانون اول نیوتن چیست؟
 - ۳ قانون دوم نیوتن را بیان کنید و شرط اساسی برقراری آن را توضیح دهید.
 - ۴ کارکرد اصلی قانون دوم نیوتن چیست؟
 - ۵ قانون سوم نیوتن را بیان کنید و شرط اساسی برقراری آن را توضیح دهید.
 - ۶ کارکرد اصلی قانون سوم نیوتن چیست؟
 - ۷ قوانین نیرو چه نقشی در حل مساله حرکت دارند؟
 - ۸ چهار نیروی بنیادی طبیعت را نام ببرید.
 - ۹ قانون گرانش نیوتن را بنویسید. چرا شتاب گرانش در نزدیکی سطح زمین تقریباً ثابت است؟
 - ۱۰ دلیل وجود نیروی عمودی سطح را توضیح دهید.
 - ۱۱ نیروی کشش نخ در چه شرایطی در طول نخ ثابت است؟
 - ۱۲ قانون هوک برای فنر ها را بنویسید و دلیل وجود علامت منفی را توضیح دهید.
- اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفاً درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراموش 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



نیروی $F = 60 \text{ N}$ به یک مجموعه جرم، مطابق شکل روبه رو، وارد می شود.

الف: از اصطکاک صرفنظر کنید و شتاب مجموعه را بیابید.

ب: نیروی وارد شده از طرف جرم ۱ به جرم ۲ را بیابید. نیروی وارد شده از طرف جرم ۲ به جرم ۱ چقدر است؟

پ: نیروی وارد شده از طرف جرم ۲ به جرم ۳ را بیابید.

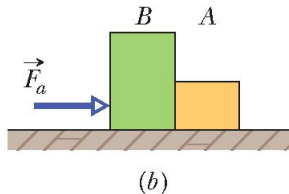
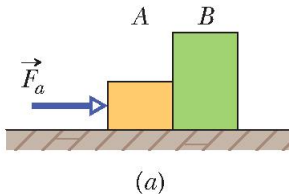
شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

تمرین

الف: نیروی F_a مطابق شکل سمت چپ به جرم A وارد می شود. اگر جرم این دو جسم به ترتیب m_B و m_A باشد، شتاب مجموعه را به دست بیاورید (از اصطکاک صرف نظر کنید). نیروی وارده از طرف جسم A به جسم B چقدر است؟

ب: نیروی F_a مطابق شکل سمت راست به جرم B وارد می شود. در این حالت نیز شتاب مجموعه را به دست بیاورید (از اصطکاک صرف نظر کنید). نیروی وارده از طرف جسم B به جسم A چقدر است؟

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



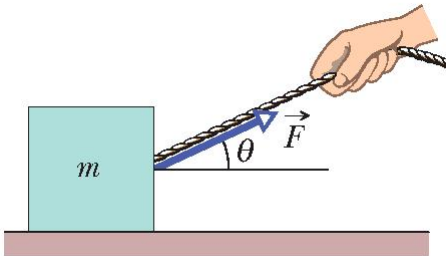
تمرین

فردی جسمی به جرم $m = 5 \text{ kg}$ را با نیروی $F = 10 \text{ N}$ و با زاویه $\theta = 30^\circ$ نسبت به افق می کشد.

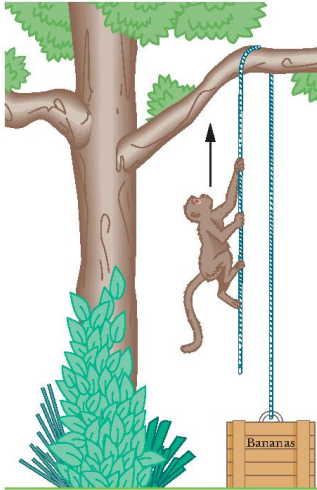
الف: شتاب جسم را بیابید.

ب: نیروی عمودی سطح وارد شده به جرم m چقدر است؟

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



مبحث بعدی: کاربرد قوانین نیوتن



- در جلسه بعد، از قوانین نیوتن و قوانین نیرو برای حل مساله حرکت استفاده خواهیم کرد. برای موفقیت در این راه، لازم است که استراتژی مشخصی را برای به کار بردن سیستماتیک این قوانین بیاموزیم.
- شکل از مبانی فیزیک، ویرایش دهم.

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>

The screenshot shows the MIT OCW website interface. At the top, there's a search bar and navigation links. Below, a list of courses is displayed, including 'Physics 8.01: Classical Mechanics' by Walter Lewin. The page is in Persian, and the layout includes course titles, instructors, and brief descriptions.

This section shows a profile for Professor Walter Lewin. It features a portrait photo, a short biography in Persian, and a list of his courses, including '8.01 Classical Mechanics'. The text is in Persian and provides details about his teaching and research.

This section shows a map of the MIT campus and a list of courses. The map highlights the location of the OpenCourseWare Center. Below the map, there's a list of courses and their respective instructors, along with contact information for the center.

The screenshot shows a YouTube video player. The video title is 'Lec 01: Units, Dimensions, and Scaling Arguments | 8.01 Classical Mechanics (Walter Lewin)'. The video has 387,915 views and was uploaded on Dec 9, 2014. The video shows Professor Walter Lewin standing in front of a chalkboard, gesturing while speaking.

Lec 01: Units, Dimensions, and Scaling Arguments | 8.01 Classical Mechanics (Walter Lewin)

387,915 views • Dec 9, 2014



با سپاس از توجه شما