

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

- کاربرد قوانین نیوتن

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

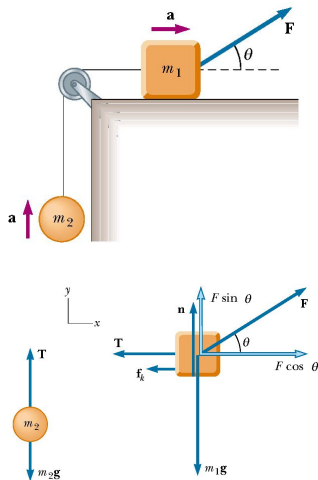
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

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.

استراتژی کلی برای به کار بردن قوانین نیوتن



شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

مساله را به درستی و با دقت مطالعه کنید. با مطالعه دقیق مساله، تعیین کنید که چه اطلاعاتی داده شده اند و چه کمیت هایی از شما خواسته شده اند. اگر هیچ ایده ای برای حل مساله ندارید، کتاب (مخصوصا مثال های متن درس) را مجدداً مطالعه کنید.

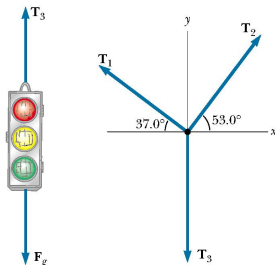
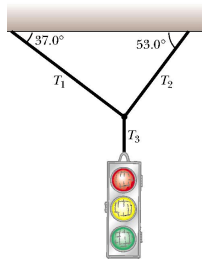
سیستم (جسم) کلیدی مساله کدام است؟ معمولاً سیستم کلیدی مساله جسمی است که پارامترهای خواسته شده به آن مربوط می شوند.

دو جور شکل بکشید. یکی نمودار کلی مساله و دیگری نمودار جسم آزاد. نمودار جسم آزاد نموداری است که جسم مورد نظر مساله را بدون هیچ گونه اتصالی به دنیای اطراف نشان می دهد. اثر محیط اطراف توسط بردارهای نیرو در نمودار جسم آزاد مشخص می شود.

محورها را عاقلانه رسم کنید. معمولاً بهتر است که یکی از محورها در جهت (ترجیحی) حرکت انتخاب شود.

شما تئوری پایه ای مکانیک را به خوبی میدانید؛ قسمت عمده این تئوری در صفحه قبل خلاصه شده است!!! ولی برای حل موفقیت آمیز مسائل، باید این نظریه را در عمل نیز بیاموزید. یکی از راههای بهتر آموختن و درونی سازی هر تئوری علمی، حل مسائل مربوط به تئوری است. بنابراین در حل تمرین ها کوشا باشید.

مثال اول: چراغ راهنما



چراغ راهنمایی به جرم 10 kg به صورت مقابل به وسیله سه رشته طناب آویزان است. کشش نخ در هر سه طناب را بیابید. فرض کنید که طناب ها بدون جرم هستند.

نمودار جسم آزاد را برای چراغ راهنما و نقطه تلاقی طناب ها رسم می کنیم.

یکی از محورها را در راستای عمود فرض می کنیم. چون چراغ راهنما ساکن است، مجموع نیروهای وارد شده به جسم در هر جهت باید صفر باشد. بنابراین

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \sum F_x = 0 \text{ and } \sum F_y = 0$$

در جهت افق نیرویی به این جسم وارد نمی شود. در جهت عمود داریم:

$$T_3 - F_g = ma_y = 0 \Rightarrow T_3 = F_g = mg = 10 \times 9.8 = 98 \text{ N}$$

نقطه تلاقی طناب ها نیز ساکن است. بنابراین مجموع نیروهای وارد شده به آن در هر جهت باید صفر باشد:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \sum F_x = 0 \text{ and } \sum F_y = 0$$

در جهت افق داریم:

$$T_2 \cos 53^\circ - T_1 \cos 37^\circ = 0 \Rightarrow 0.6T_2 = 0.8T_1 \Rightarrow T_1 = 0.75T_2$$

همچنین در جهت عمود داریم:

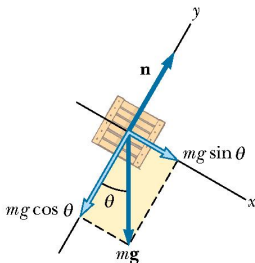
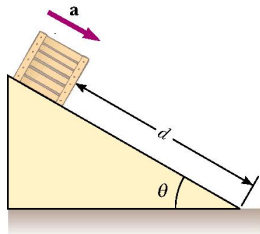
$$T_1 \sin 37^\circ + T_2 \sin 53^\circ - T_3 = 0 \Rightarrow 0.6T_1 + 0.8T_2 = 98 \text{ N}$$

یعنی

$$\Rightarrow 0.6 \times 0.75T_2 + 0.8T_2 = 98 \text{ N} \Rightarrow T_2 = 78.4 \text{ N}, \quad T_1 = 58.8 \text{ N}$$

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

مثال دوم: درآمدی بر سطح شیب دار



جسمی، مانند شکل مقابل، بر روی سطح شیب دار بدون اصطکاکی در حال پایین آمدن است. شتاب جسم در راستای سطح شیب دار را بیابید. نیروی عمودی سطح چقدر است؟

یکی از محورها را در راستای حرکت در نظر می‌گیریم. همچنین، نمودار جسم آزاد را برای جسم در حال حرکت رسم می‌کنیم. شکل پایین را ببینید.

اگر زاویه سطح شیب دار با راستای افق برابر θ باشد آنگاه زاویه بین بردار وزن $m\vec{g}$ و مولفه عمود بر سطح شیب دار وزن نیز برابر θ خواهد بود. چرا؟

برای بررسی دقیق مساله، لازم است که بردار $\vec{F}_g = m\vec{g}$ را در جهت حرکت و عمود بر آن تجزیه کنیم. با استفاده از نسبت های مثلثاتی سینوس و کسینوس داریم:

$$\sin \theta = \frac{F_{g, x}}{F_g} \Rightarrow F_{g, x} = F_g \sin \theta = mg \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{F_{g, y}}{F_g} \Rightarrow F_{g, y} = F_g \cos \theta = mg \cos \theta$$

صورت های پیچیده تر این مساله را در آینده به کرات خواهیم دید. بنابراین مطمئن شوید که این تجزیه نیرو را به درستی فرا گرفته اید.

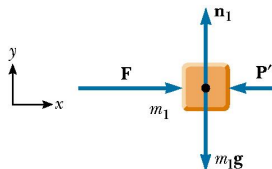
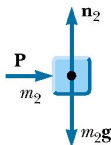
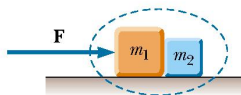
حال قانون دوم نیوتن را در جهت حرکت و عمود بر آن می‌نویسیم:

$$\sum F_x = ma_x \Rightarrow mg \sin \theta = ma_x \Rightarrow a_x = g \sin \theta$$

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

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

مثال سوم: نگاهی به نقش قانون سوم نیوتن



شکل ها از مبانی فیزیک
هالیدی، ویرایش هشتم.

نیروی $\vec{F}$ به دو جرم یک و دو وارد می شود. الف: شتاب مجموعه را بیابید. ب: نیروی وارده از طرف جرم اول به جرم دوم چقدر است.

نمودار جسم آزاد برای هر دو جسم را به صورت مجزا رسم می کنیم. دقت کنید که هر دو جسم با شتاب برابر (مثلاً a) در حال حرکت هستند. بنابراین باید از طرف جسم اول نیرویی (مثل P) به جسم دوم وارد شود تا بتواند این جسم را نیز با شتاب a به حرکت وادار کند. واکنش این نیرو به جسم اول وارد می شود و، بنابه قانون سوم نیوتن، اندازه آن برابر P و در جهت عکس آن است:

$$\vec{P} = -\vec{P}'$$

شکل را ببینید.

برای پیدا کردن شتاب کل، دو راه داریم. اول نوشتن قانون دوم نیوتن برای هر دو جسم و پیدا کردن شتاب:

$$m_1 : \Rightarrow F - P = m_1 a$$

$$m_2 : \Rightarrow P = m_2 a$$

با جمع دو رابطه اخیر می توان شتاب را به صورت $a = \frac{F}{m_1 + m_2}$ به دست آورد.

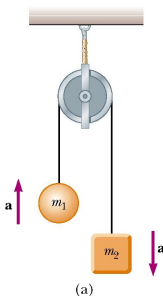
دوم اینکه هر دو جسم را به صورت یک سیستم در نظر گرفته و با استفاده از قانون دوم نیوتن شتاب را بیابیم (نیروی P در این مورد داخلی محسوب می شود و بنابراین وارد قانون دو نیوتن نمی شود.):

$$F = (m_1 + m_2) a \Rightarrow a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

$$P = m_2 a \Rightarrow P = F \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{پیدا کردن } P$$

تمرین: الف: اگر نیرو از سمت راست و به جسم دوم وارد شود، شتاب مجموعه را بیابید. ب: نیروی وارده از طرف جرم اول به جرم دوم چقدر است.

مثال چهارم: ماشین آتوود



در ماشین آتوود مقابل فرض کنید که $m_2 > m_1$. شتاب هریک از اجرام و کشش نخ در ماشین آتوود مقابل را بیابید. در اینجا از جرم و ابعاد قرقره و همچنین جرم نخ صرف نظر می کنیم. به علاوه فرض می کنیم که نخ خاصیت ارتجاعی ندارد.

چون $m_2 > m_1$ ، شتاب مجموعه به جهت نشان داده شده در شکل خواهد بود. ما نیز جهت مختصات را در جهت شتاب در نظر می گیریم (درست است! دستگاه مختصات خمیده است).

بدون جرم بودن نخ و قرقره باعث می شود که نیروی کشش نخ در سرتاسر آن یکسان باشد.

چون نخ خاصیت ارتجاعی ندارد، هر دو جسم به یک اندازه در هر بازه زمانی جابه جا شده و بنابراین شتاب های یکسانی خواهند داشت.

نمودار جسم آزاد را برای هر دو جسم رسم می کنیم. شکل مقابل را ببینید.

بنا به قانون دوم نیوتن داریم:

$$m_1 : \Rightarrow T - m_1 g = m_1 a$$

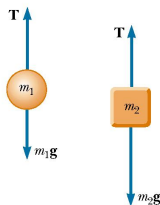
$$m_2 : \Rightarrow m_2 g - T = m_2 a$$

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g \quad \text{بنابراین با جمع دو رابطه اخیر داریم:}$$

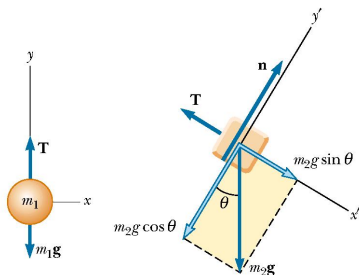
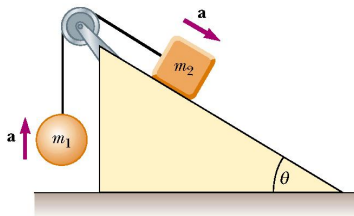
کشش نخ:

$$T = m_1(g + a) = m_1\left(g + \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g\right) = g \frac{2m_2 m_1}{m_2 + m_1}$$

شکل از مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.



مثال پنجم: دو جسم متصل به هم روی سطح شیب دار



فرض کنید که در شکل مقابل جسم m_2 به سمت پایین حرکت می کند. شتاب حرکت، نیروی عمودی سطح وارد بر m_2 و کشش نخ را به دست آورید. از نیروی اصطکاک و جرم نخ صرف نظر کنید.

محورهای مختصات خمیده و در جهت حرکت هستند. نمودار جسم آزاد را در شکل پایین ملاحظه می کنید.

برای جسم m_1 بنا به قانون دوم نیوتن داریم:

$$\sum F_x = m_1 a_x = 0$$

$$\sum F_y = m_1 a_y \Rightarrow T - m_1 g = m_1 a_y = m_1 a$$

برای جسم m_2 بنا به قانون دوم نیوتن داریم:

$$\sum F_{x'} = m_2 g \sin \theta - T = m_2 a_{x'} = m_2 a$$

$$\sum F_{y'} = n - m_2 g \cos \theta = m_2 a_{y'} = 0$$

از جمع معادلات اول و دوم داریم: $a = \frac{m_2 \sin \theta - m_1}{m_1 + m_2} g$
با قرار دادن این شتاب در معادله اول (و یا دوم) داریم:

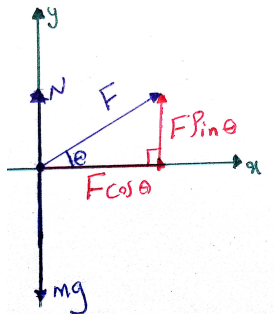
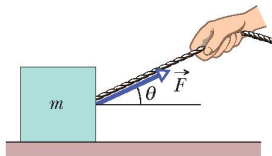
$$T = \frac{m_1 m_2 (1 + \sin \theta)}{m_1 + m_2} g$$

بنا به معادله سوم نیز داریم: $n = m_2 g \cos \theta$

در فصل ششم اصطکاک را به این مساله اضافه می کنیم.

شکل ها از ویرایش هشتم مبانی فیزیک هالیدی.

مثال ششم



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؟

نمودار جسم آزاد این جرم و محورهای انتخابی را در شکل پایین ملاحظه می کنید.

با استفاده از قانون دوم نیوتن می توان معادلات حرکت در راستای عمود و افق را به صورت زیر نوشت:

$$N + F \sin \theta - mg = ma_y = 0 \Rightarrow N = -F \sin \theta + mg$$

$$F \cos \theta = ma_x \Rightarrow a_x = \frac{F \cos \theta}{m}$$

شکل بالا از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

نکات مهم این درس

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

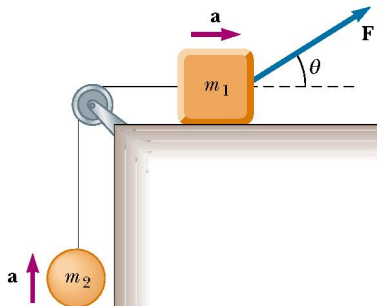
- ۱ استراتژی کلی برای به کار بردن قوانین نیوتن را توضیح دهید.
- ۲ جسم کلیدی مساله کدام است؟
- ۳ نمودار جسم آزاد را توضیح دهید.
- ۴ بهترین مختصات برای حل مساله را چطور باید انتخاب کنیم؟

اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا 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



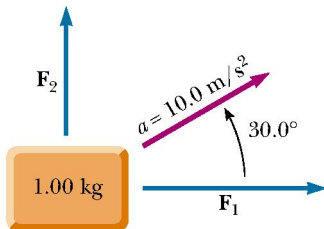
فردی با نیروی F دو جرم را به سمت خود می کشد.
الف: از اصطکاک صرفنظر کنید و شتاب مجموعه را بیابید.

ب: نیروی کشش نخ در مجموعه چقدر است؟
نمودار جسم آزاد هر دو جرم را به دقت رسم کنید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

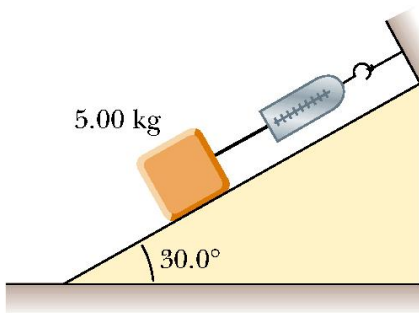
تمرین

- دو نیرو به جسمی به جرم $m = 1 \text{ kg}$ وارد شده و باعث شتاب 10 m/s^2 می شوند. اگر نیروی F_2 برابر 18 N باشد، اندازه نیروی F_1 را تعیین کنید.
- شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



تمرین

- در شکل پایین، جرم در سکون است.
الف: نیروی وارده از طرف فنر چقدر باید باشد؟
ب: اگر ثابت فنر برابر $k = 1000 \text{ N/m}$ باشد، تغییر طول فنر را محاسبه کنید. از اصطکاک صرف نظر کنید.
- شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



مبحث بعدی: نیروی اصطکاک، پَسار و دینامیک حرکت دورانی



در جلسه بعد، نیروی اصطکاک جنبشی و ایستایی را به تفصیل بررسی کرده و وارد مسائل دینامیک خواهیم کرد. همچنین، نیروی پَسار (نیروی اصطکاک وارده به جسم جامد در حال حرکت در سیال) را به اختصار در نظر خواهیم گرفت. در انتها نیز دینامیک حرکت دایره ای یکنواخت را مطالعه خواهیم کرد.

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 Sharif University of Technology website. The top navigation bar includes 'خانه' (Home), 'دوره ها' (Courses), 'مکتب خونه' (Maktab Khaneh), and 'وبلاگ' (Blog). The 'مکتب خونه' section is highlighted, showing a list of courses and resources. The list includes titles like 'فیزیک عمومی' (General Physics), 'مکانیک کلاسیک' (Classical Mechanics), and 'الکترونیک' (Electronics). Each entry has a small icon and a link to the course page.

The screenshot shows a YouTube video player. The video is titled '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 a man in a blue shirt standing in front of a blackboard, gesturing with his hands while speaking. The video player interface includes a search bar, a play button, and various controls for volume, full screen, and sharing.

The screenshot shows the Sharif University of Technology website. The top navigation bar includes 'خانه' (Home), 'دوره ها' (Courses), 'مکتب خونه' (Maktab Khaneh), and 'وبلاگ' (Blog). The 'مکتب خونه' section is highlighted, showing a list of courses and resources. The list includes titles like 'فیزیک عمومی' (General Physics), 'مکانیک کلاسیک' (Classical Mechanics), and 'الکترونیک' (Electronics). Each entry has a small icon and a link to the course page.

با سپاس از توجه شما

