

فیزیک مکانیک

فصل دوازدهم: تعادل اجسام صلب

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

۱ فصل دوازدهم: تعادل اجسام صلب

- تعادل ایستایی (استاتیک)

- مثال هایی از تعادل استاتیک اجسام

آنچه گذشت...

- 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.

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

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: 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

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

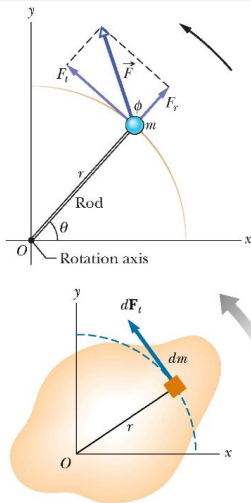
قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس العملی است، با مقدار مساوی و در جهت خلاف آن

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

قوانین نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار هستند.

پرسش: حرکت یک جسم صلب (یک نوع خاص از سیستم ذره که در آن فاصله ذرات تغییر نمی کند) چگونه است؟

رابطه بین گشتاور و شتاب زاویه ای- مورد جسم صلب



برای پیدا کردن رابطه بین گشتاور و شتاب زاویه ای در یک جسم صلب کلی، جسم صلب مورد نظر را به تعداد زیادی جرم دیفرانسیلی dm تجزیه می کنیم.

برای جرم دیفرانسیلی dm در شکل داریم:

$$dF_t = dm a_t$$

یعنی نیروی دیفرانسیلی در جهت مماسی برابر است با جرم دیفرانسیلی ضربدر شتاب در جهت مماسی. از طرفی گشتاور وارده از طرف این نیرو برابر است با

$$d\tau = r dF_t = dm a_t r = dm (\alpha r) r = (r^2 dm) \alpha = dI \alpha$$

اگر جسم فقط در صفحه xy دوران کند، آنگاه گشتاورهای دیفرانسیلی به راحتی با هم جمع می شوند:

$$\vec{\tau}_{tot} = \int d\vec{\tau} = \vec{\alpha} \int r^2 dm = I \vec{\alpha}$$

پرسش: چرا شتاب زاویه ای می تواند از انتگرال خارج شود؟

شکل دورانی قانون دوم نیوتن:

$$\sum \vec{\tau} = I \vec{\alpha}$$

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

شرط تعادل استاتیک

یک جسم در تعادل ایستایی (استاتیک) است اگر دو شرط زیر به صورت همزمان برای آن صادق باشند:

مجموع نیروهای وارد بر جسم صفر باشد:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

یعنی شتاب جسم در همه جهات باید صفر باشد.

مجموع گشتاورهای وارد بر جسم " حول همه محورها " صفر باشد:

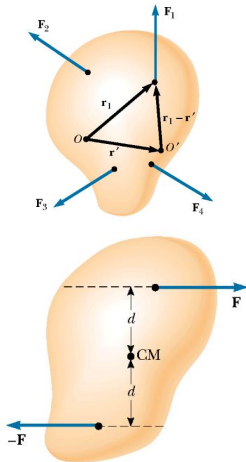
$$\sum \vec{\tau}_i = 0$$

یعنی شتاب زاویه ای جسم در همه جهات باید صفر باشد.

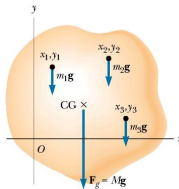
دقت کنید که هر دو شرط باید برقرار باشند تا جسم در حالت تعادل استاتیک قرار گیرد.

مثلا در شکل پایین، مجموع نیروهای وارد شده به جسم صفر است ولی مجموع گشتاورها صفر نیست، بنابراین جسم دوران می کند و شتاب زاویه ای دارد. چنین جسمی در تعادل استاتیک نیست.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.



مرکز گرانش



به تک تک ذرات هر جسمی در نزدیکی زمین نیروی گرانش وارد می شود. البته برآیند این نیروی گرانش به نظر می رسد که به "مرکز گرانش" جسم وارد شده است.

مکان مرکز گرانش (center of gravity) بنا به تعریف عبارت است از

$$x_{CG} = \frac{m_1 g x_1 + m_2 g x_2 + \dots}{m_1 g + m_2 g + \dots}$$

مرکز گرانش لزوماً در مرکز جرم جسم قرار ندارد؛ هرچند، اگر جسم گستردگی اندکی داشته باشد آنگاه مقدار شتاب گرانش برای تمام ذرات جسم ثابت است:

$$g_1 = g_2 = \dots$$

در چنین حالتی مرکز جرم و مرکز گرانش بر هم منطبق می شوند:

$$\text{if } g_1 = g_2 = \dots \Rightarrow x_{CG} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} = x_{CM}$$

در تمام حالت هایی که ما در اینجا در نظر می گیریم جسم گستردگی اندکی داشته و بنابراین مرکز جرم و مرکز گرانش بر هم منطبق هستند.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

استراتژی کلی برای حل مسائل استاتیک



۱ یک محور را انتخاب کنید. از آنجا که اگر جسم صلب در حالت تعادل استاتیک باشد، گشتاور آن حول همه محورها صفر است، انتخاب محور علی الاصول تفاوتی در نتایج نهایی مساله نخواهد گذاشت. هرچند، می توان مبدا محور را در مکان یکی از نیروهای مجهول قرار داد و بنابراین گشتاور آن را از مساله حذف کرد! اینکار یکی از گشتاورهای مجهول را حذف کرده و به محاسبه سریعتر جواب کمک می کند.

۲ تشخیص دهید که در کدام جهت ها $(x, y, \text{و یا } z)$ نیروها وجود دارند؛ معمولا در یک و یا دو جهت اصلا نیرویی وجود ندارد. شرط $\sum \vec{F}_i = 0$ را در جهت هایی که نیروها وجود دارند بنویسید.

۳ تشخیص دهید که در کدام جهت ها $(x, y, \text{و یا } z)$ گشتاور وجود دارد؛ معمولا در یک و یا دو جهت گشتاور وجود ندارد. شرط $\sum \vec{\tau}_i = 0$ را در جهت هایی که گشتاور وجود دارد بنویسید.

۴ چند معادله و چند مجهول از این دو شرط (در واقع شش شرط!) به دست می آید. چک کنید که تعداد مجهول ها و تعداد معلوم ها برابر باشد. دستگاه چند معادله-چند مجهول مورد نظر را حل کرده و شرایط تعادل استاتیک را به دست آورید.

شکل ها از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

Balance of
forces

$$F_{\text{net},x} = 0$$

$$F_{\text{net},y} = 0$$

$$F_{\text{net},z} = 0$$

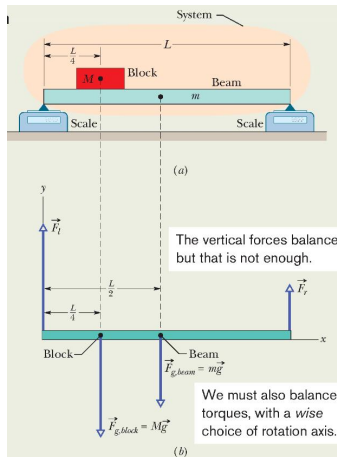
Balance of
torques

$$\tau_{\text{net},x} = 0$$

$$\tau_{\text{net},y} = 0$$

$$\tau_{\text{net},z} = 0$$

استاتیک - مثال اول: نیروهای وارده بر یک میله



شکل از ویرایش دهم.

در شکل مقابل، میله ای همگن به طول L و جرم $m = 1.8 \text{ kg}$ در حالت سکون بر روی دو ترازو قرار گرفته است. یک قطعه همگن با جرم $M = 2.7 \text{ kg}$ نیز در حالت سکون بر روی میله قرار گرفته است و مرکز آن در فاصله $L/4$ از انتهای سمت چپ میله قرار دارد. این ترازوها چه اعدادی را نشان می دهند؟ نمودار جسم آزاد را فراموش نکنید.

پاسخ: برای پاسخ به این سوال باید به دقت نیروهای وارده به سیستم را تعیین کنیم. در واقع این سوال میزان نیروی عمود بر سطح وارد شده از طرف ترازوها به دو انتهای میله را از ما پرسیده است. نمودار جسم آزاد را برای سیستم مورد نظر رسم می کنیم. با توجه به اینکه جسم در حالت تبادل استاتیک است باید مجموع نیروها برابر صفر باشد:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

همانطور که از شکل پیداست، در این مثال بسیار ساده نیروها فقط در جهت y قرار دارند؛ بنابراین:

$$\sum F_{iy} = 0 \Rightarrow F_L + F_R - Mg - mg = 0$$

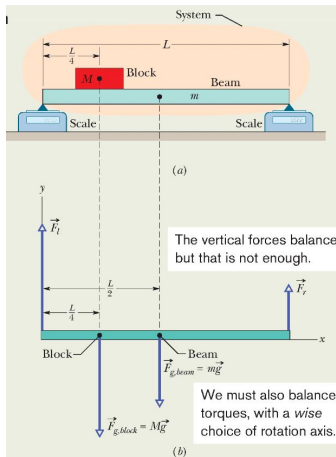
حال باید گشتاور تک تک نیروها (و جهت گشتاورها) را از رابطه $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ بیابیم (گشتاورها فقط در راستای z وجود دارند. چرا؟):

$$\tau_{F_L} = 0 \times F_L = 0 \quad \tau_{F_R} = L F_R$$

$$\tau_{Mg} = -\frac{L}{4} Mg \quad \tau_{mg} = -\frac{L}{2} mg$$

به تاثیر انتخاب محور در صفر شدن τ_{F_L} و همچنین علامت هرکدام از گشتاورها (ساعتگرد و پادساعتگرد بودن دوران ناشی از آنها) دقت کنید.

استاتیک - مثال اول: نیروهای وارده بر یک میله (ادامه)



شکل از ویرایش دهم.

در شکل مقابل، میله ای همگن به طول L و جرم $m = 1.8 \text{ kg}$ در حالت سکون بر روی دو ترازو قرار گرفته است. یک قطعه همگن با جرم $M = 2.7 \text{ kg}$ نیز در حالت سکون بر روی میله قرار گرفته است و مرکز آن در فاصله $L/4$ از انتهای سمت چپ میله قرار دارد. این ترازوها چه اعدادی را نشان می دهند؟ نمودار جسم آزاد را فراموش نکنید.

پاسخ (ادامه): بنا به شرط تعادل استاتیک باید مجموع گشتاورها (حول هر محور) برابر صفر باشد:

$$\sum \vec{\tau}_i = 0$$

همانطور که از شکل پیداست، در اینجا گشتاورها فقط در جهت z وجود دارند؛ بنابراین:

$$\sum \tau_i \hat{z} = 0 \Rightarrow F_l \times L - \frac{L}{4} Mg - \frac{L}{2} mg + L F_r = 0$$

از این معادله می توان F_r را یافت:

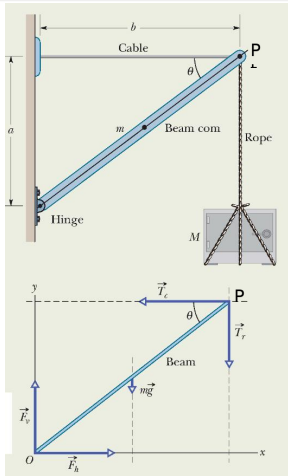
$$F_r = \frac{1}{4} Mg + \frac{1}{2} mg = 15.44 \text{ N}$$

حال با دانستن F_r می توان F_l را پیدا کرد:

$$F_l = (M + m)g - F_r = 28.66 \text{ N}$$

تمرین: نشان دهید که اگر محور مختصات از هر کدام از نیروهای دیگر (Mg ، mg و یا F_r) بگذرد باز هم همین نتیجه به دست خواهد آمد.

استاتیک - مثال دوم: تعادل ایستایی یک تیرآهن در حالت زاویه دار



شکل از ویرایش دهم

شکل مقابل گاو صندوقی به جرم $M = 430 \text{ kg}$ را نشان می دهد که توسط یک طناب با جرم ناچیز از یک تیرآهن همگن به جرم $m = 85 \text{ kg}$ آویزان شده است. جرم کابل نگه دارنده تیرآهن ناچیز فرض می شود ($b = 2.5 \text{ m}$ و $a = 1.8 \text{ m}$). الف: کشش نخ T_c را به دست آورید (این همان نیرویی است که از طرف کابل به تیرآهن وارد می شود). ب: اندازه نیروی F وارد شده از طرف لولا به تیرآهن را بیابید.

پاسخ: نیروهای وارده به سیستم را در نمودار جسم آزاد ملاحظه می کنید. نیروی وارد شده از طرف لولا به تیرآهن (F_h و F_v) را برای راحتی تجزیه کرده ایم. کمیت T_c نیروی وارد شده از طرف کابل و T_r نیروی وارده از طرف طناب به تیرآهن را نشان می دهند (دقت کنید که سیستم اصلی مد نظر ما تیرآهن است).

با توجه به اینکه جسم (تیرآهن) در حالت تعادل استاتیک است باید مجموع نیروهای وارد بر آن برابر صفر باشد:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

نتیجه این معادله برداری در جهت های x و y به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum F_{ix} = 0 \Rightarrow F_h - T_c = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 \Rightarrow F_v - mg - T_r = 0$$

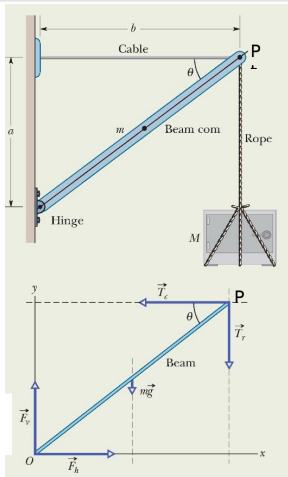
از طرفی گاو صندوق هم در حالت استاتیکی است؛ بنابراین:

$$T_r - Mg = 0 \Rightarrow T_r = Mg = 430 \times 9.8 = 4214 \text{ N}$$

$$F_v = mg + T_r = g(M + m) = 5047 \text{ N}$$

دقت کنید که تا اینجا سه معادله و چهار مجهول داشتیم (که دو مجهول تعیین شدند).

استاتیک - مثال دوم: تعادل ایستایی یک تیرآهن در حالت زاویه دار (ادامه)



شکل از ویرایش هم

شکل مقابل گاوصندوقی به جرم $M = ۴۳۰ \text{ kg}$ را نشان می دهد که توسط یک طناب با جرم ناچیز از یک تیرآهن همگن به جرم $m = ۸۵ \text{ kg}$ آویزان شده است. جرم کابل نگه دارنده تیرآهن ناچیز فرض می شود ($a = ۱.۸ \text{ m}$ و $b = ۲.۵ \text{ m}$). الف: کشش نخ T_c را به دست آورید (این همان نیرویی است که از طرف کابل به تیرآهن وارد می شود). ب: اندازه نیروی F وارد شده از طرف لولا به تیرآهن را بیابید.

پاسخ (ادامه): برای این جسم در حال تعادل استاتیکی، باید مجموع گشتاورها هم صفر شود:

$$\sum \vec{\tau}_i = 0$$

گشتاورها فقط در راستای z هستند:

$$\sum \tau_i z = 0 \Rightarrow aT_c - bT_r - \frac{1}{2}bmg = 0$$

دقت کنید که با توجه به مرکز دوران انتخاب شده (نقطه O) دو نیروی گذرنده از این نقطه از معادله گشتاور حذف شدند (چقدر خوب!). از معادله بالا می توانیم T_c را بیابیم:

$$T_c = \frac{bg}{a}(M + \frac{1}{2}m) = ۶۰۹۳ \text{ N}$$

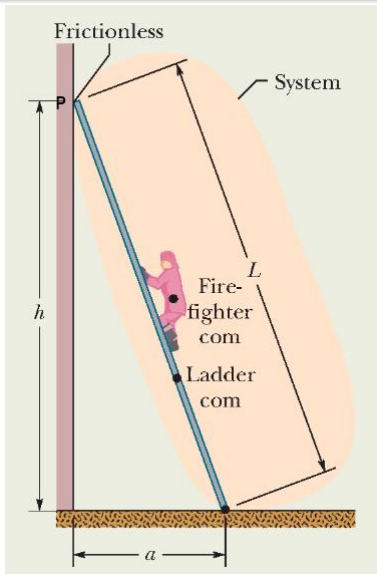
حال با دانستن T_c می توان F_h را یافت:

$$F_h - T_c = 0 \Rightarrow F_h = T_c = ۶۰۹۳ \text{ N}$$

نکته مهم: برای یافتن n مجهول همیشه باید n معادله داشته باشیم.

تمرین: این مساله را با فرض اینکه محور دوران در نقطه P قرار دارد حل کنید و نشان دهید که نتایج یکسان هستند.

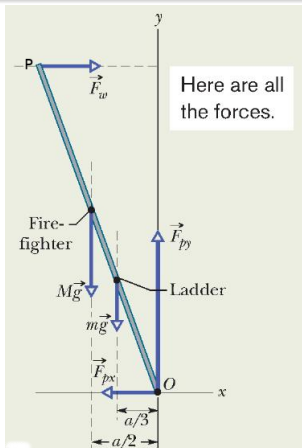
استاتیک - مثال سوم: تعادل ایستایی یک نردبان مایل



نردبانی به طول $L = 12\text{ m}$ و جرم $m = 45\text{ kg}$ به صورت مایل به یک دیوار صاف تکیه داده شده است (فرض کنید که اصطکاکی بین دیوار و نردبان وجود ندارد). انتهای بالایی نردبان در ارتفاع $h = 9.3\text{ m}$ از سطح قرار گرفته در حالی که به انتهای پایینی نردبان نیروی اصطکاک وارد می شود. مرکز جرم نردبان در فاصله $\frac{L}{4}$ از انتهای زیرین قرار گرفته است. آشنشانی به جرم $M = 72\text{ kg}$ از نردبان بالا می رود تا مرکز جرم او در فاصله $\frac{L}{2}$ از انتهای زیرین قرار می گیرد. اندازه نیروهای وارده به نردبان از طرف دیوار و سطح زیرین را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

استاتیک - مثال سوم: تعادل ایستایی یک نردبان مایل - پاسخ



شکل از ویرایش دهم

پاسخ: برای این نردبان در حال تعادل استاتیکی، باید مجموع نیروها صفر شود:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

نتیجه این معادله برداری در جهت های x و y به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum F_{ix} = 0 \Rightarrow F_w - F_{px} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 \Rightarrow F_{py} - Mg - mg = 0 \Rightarrow F_{py} = Mg + mg = 1147 \text{ N}$$

از طرفی مجموع گشتاورها هم باید صفر شود:

$$\sum \vec{\tau}_i = 0$$

گشتاورها فقط در راستای z هستند:

$$\sum \tau_{iz} = 0 \Rightarrow -hF_w + \frac{a}{3}Mg + \frac{a}{3}mg + 0 \times F_{px} + 0 \times F_{py} = 0$$

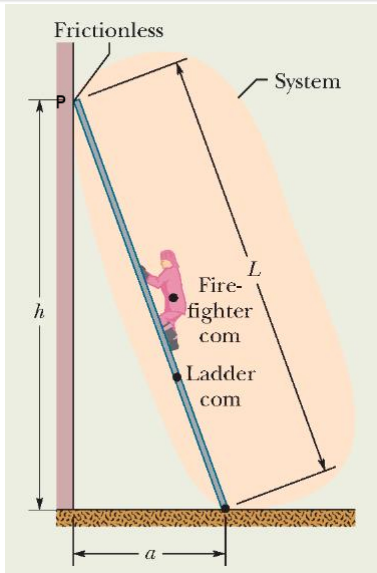
در اینجا $a = \sqrt{L^2 - h^2} = 7.58 \text{ m}$ را لطفاً مطمئن شوید که محاسبه این گشتاورها (و مخصوصاً جهت آنها) را می فهمید. همچنین، دقت کنید که با توجه به مرکز دوران انتخاب شده (نقطه O) دو نیروی گذرنده از این مرکز از معادله گشتاور حذف شدند. از معادله اخیر می توانیم

$$F_w = \frac{ga}{h} \left(\frac{M}{3} + \frac{m}{3} \right) = 407 \text{ N}$$

حال با دانستن F_w می توان F_{px} را یافت:

$$F_w - F_{px} = 0 \Rightarrow F_w = F_{px} = 407 \text{ N}$$

استاتیک - مثال سوم: تعادل ایستایی یک نردبان مایل - چک کنید



نردبانی به طول $L = 12\text{ m}$ و جرم $m = 45\text{ kg}$ به صورت مایل به یک دیوار صاف تکیه داده شده است (فرض کنید که اصطکاکی بین دیوار و نردبان وجود ندارد). انتهای بالایی نردبان در ارتفاع $h = 9.3\text{ m}$ از سطح قرار گرفته در حالی که به انتهای پایینی نردبان نیروی اصطکاک وارد می شود. مرکز جرم نردبان در فاصله $\frac{L}{4}$ از انتهای زیرین قرار گرفته است. آشنشانی به جرم $M = 72\text{ kg}$ از نردبان بالا می رود تا مرکز جرم او در فاصله $\frac{L}{4}$ از انتهای زیرین قرار می گیرد. اندازه نیروهای وارده به نردبان از طرف دیوار و سطح زیرین را بیابید.

چک کنید که تعداد معادلات و مجهولات مساله برابرند.

چک کنید که اگر مرکز دوران (محور محاسبه گشتاورها) را در نقطه P نیز فرض کنیم به جواب های یکسانی میرسیم.

آیا اگر بین دیوار و نردبان اصطکاک وجود داشته باشد (معمولا این حالت برقرار است)، باز هم می توان معادلات را حل کرد؟ چه راه حلی پیشنهاد می کنید؟

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی تعادل اجسام صلب را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

۱ شرط تعادل جسم صلب چیست؟ این دو شرط را بنویسید و توضیح دهید که هرکدام به چه معنی است.

۲ مرکز گرانش چیست؟ در چه حالتی مرکز گرانش و مرکز جرم برهم منطبق هستند؟

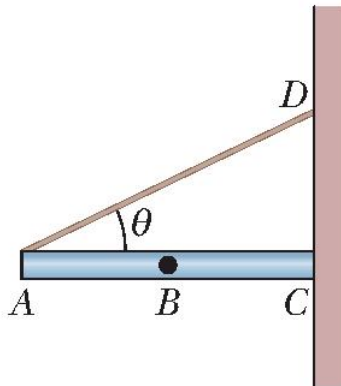
۳ چرا تعداد معادلات و مجهولات در یک مساله باید با هم برابر باشند؟

اگر درباره هرکدام 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



مطابق شکل روبرو میله AC به جرم 7 kg توسط طنابی به دیوار متصل شده است. این میله همگن 2.5 m طول دارد و زاویه مورد نظر $\theta = 35^\circ$ می باشد.

الف: نمودار جسم آزاد میله را رسم کنید.

ب: اگر بخواهیم اندازه نیروی وارد شده بر میله توسط طناب را با یک معادله پیدا کنیم، محور دوران را باید در کدام نقطه فرض کنیم؟

در این صورت

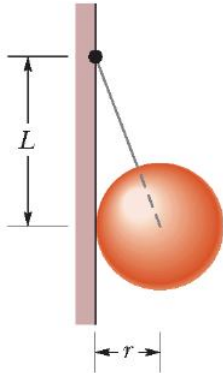
پ: گشتاور وزن میله در کدام جهت خواهد بود؟

ت: گشتاور نیروی وارده از طرف طناب در کدام جهت است؟

ث: آیا گشتاور وارده از طرف طناب بزرگتر از گشتاور نیروی وزن میله است؟

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین



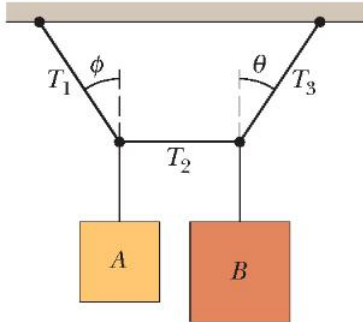
یک کره همگن به جرم $m = ۱٫۵ \text{ kg}$ و $r = ۸٫۳ \text{ cm}$ مطابق شکل روبرو توسط یک طناب بدون جرم از ارتفاع $L = ۲۳٫۰ \text{ cm}$ آویزان شده است. از اصطکاک کره با دیوار صرف نظر کنید.

الف: کشش نخ و

ب: نیروی عمودی وارده از طرف دیوار بر کره را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

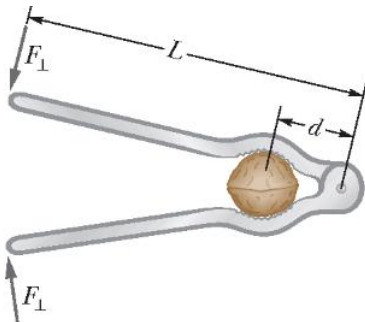
تمرین



سیستم نشان داده شده در شکل مقابل در حالت تعادل ایستایی است و طناب میانی کاملاً در حالت افقی است. جسم A به وزن 60 N و جسم B به وزن 90 N می باشد در حالی که داریم $\phi = 55^\circ$. کشش های نخ و زاویه θ را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

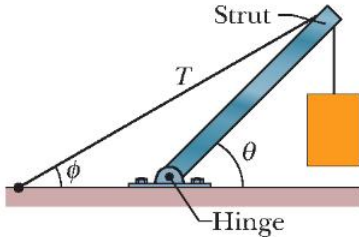
تمرین



برای شکستن یک گردو با یک گردوشکن، باید نیروی حداقل 65 N از هر دو جهت (به صورت عمود) بر آن عمل کند. برای گردوشکن شکل مقابل داریم $L = 15\text{ cm}$ و $d = 3.5\text{ cm}$. مولفه های نیروی عمودی $F_{\perp}$ وارد بر گردوشکن چقدر باید باشند تا گردو بشکند؟

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین



سیستم مقابل در تعادل استاتیکی است. یک بلوکه سیمانی به جرم 345 kg از انتهای میله ای به جرم 700 kg آویزان شده است. کابلی که به زمین متصل است، از روی میله عبور کرده و به بلوکه سیمانی متصل می شود. به این طریق بلوکه نگه داشته شده است. برای زوایای $\phi = 35^\circ$ و $\theta = 55^\circ$ کشش نخ T و نیروهای افقی و عمودی وارده بر میله از طرف لولا را بیابید.

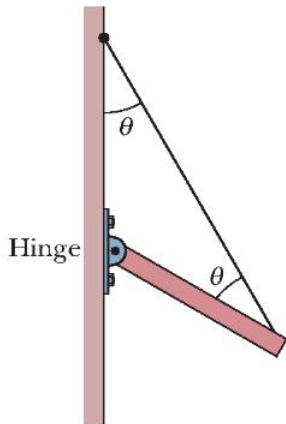
راهنمایی: میله را به عنوان جسم مرکزی در نظر گرفته و شرایط تعادل را برای آن بنویسید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

در این شکل، یک انتهای میله همگنی به وزن N به 33° به دیوار لولا شده است در حالی که طرف دیگر توسط سیمی (بدون جرم) نگه داشته شده است ($\theta = 35^\circ$). کشش در سیم و نیروهای افقی و عمودی وارده از طرف لولا را بیابید.

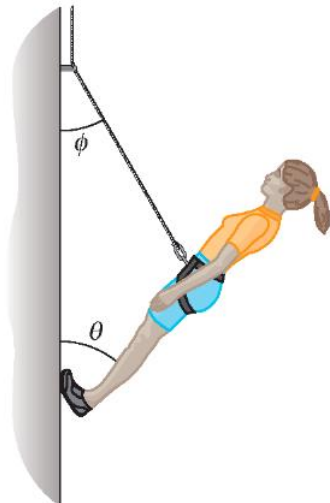
شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.



تمرین

● صخره نوردی به وزن 600 N توسط یک طناب به شکل مقابل نگه داشته شده است. نیروی وارده از طرف طناب به صورتی است که از مرکز جرم او می‌گذرد. زوایا به ترتیب برابر $\theta = 35^\circ$ و $\phi = 25^\circ$ هستند. اگر پاهای صخره نورد در آستانه لغزیدن بر روی دیوار باشند، ضریب اصطکاک ایستایی بین کفش ها و دیوار چقدر است؟

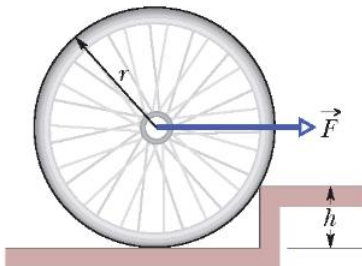
● شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.



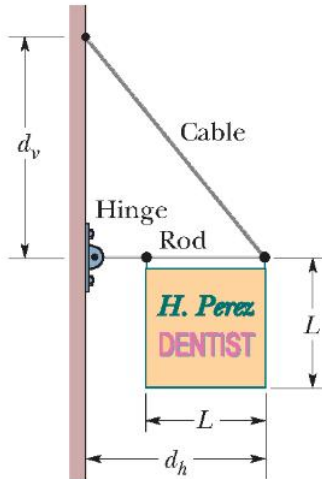
تمرین

چه نیروی افقی (ثابتی) باید به محور چرخ وارد شود تا چرخ را از پله ای به ارتفاع $h = ۱۵/۰ \text{ cm}$ عبور دهد. شعاع چرخ برابر $r = ۲۵/۰ \text{ cm}$ و جرم آن $m = ۳/۵ \text{ kg}$ می باشد.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.



تمرین



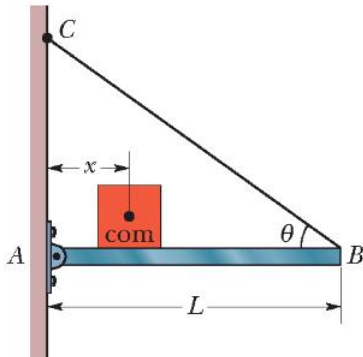
یک تابلوی 70 kg به ابعاد $L = 3.2 \text{ m}$ از میله ای به طول $d_h = 4.3 \text{ m}$ و جرم ناچیز آویزان شده است. کابلی از انتهای میله به دیوار در ارتفاع $d_v = 5.8 \text{ m}$ آویزان شده است. الف: کشش در کابل چقدر است؟ ب: اندازه و جهت مولفه افقی نیروی وارده از طرف دیوار به میله را بیابید. پ: اندازه و جهت مولفه عمودی نیروی وارده از طرف دیوار به میله را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

در شکل مقابل، فرض کنید که طول میله همگن برابر $L = 3/0 \text{ m}$ و وزن آن برابر 35° N می باشد. همچنین فرض کنید که وزن بلوکه $W = 45^\circ \text{ N}$ می باشد در حالی که $\theta = 3^\circ$. کابل حداکثر می تواند وزنی برابر 65° N را تحمل کند. بیشترین فاصله x که سیستم می تواند تحمل کند پیش از آنکه کابل قطع شود را بیابید. اگر بلوکه در این مکان قرار گیرد، نیروهای افقی و عمودی وارد شده از طرف لولا به میله در نقطه A را بیابید.

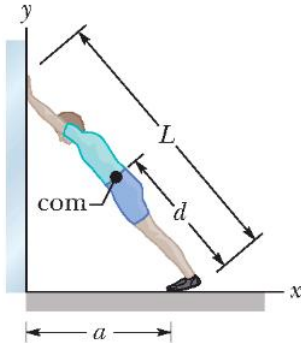
شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.



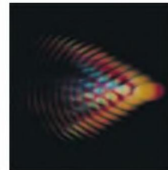
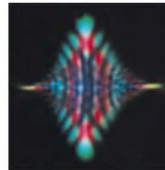
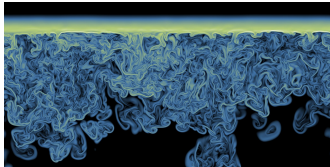
تمرین

یک صخره نورد بر یک دیوار یخی به صورت مقابل تکیه می دهد (اصطکاک با دیوار ناچیز است). در این شکل داریم $a = 0.914 \text{ m}$ و $L = 2.10 \text{ m}$. فاصله مرکز جرم صخره نورد تا پایین پاهایش نیز برابر $d = 0.94 \text{ m}$ می باشد. اگر فرد در آستانه لغزیدن باشد، ضریب اصطکاک ایستایی بین کفش و سطح زیرین را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.



مباحث دیگر فیزیک هالیدی



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 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>

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/>

با سپاس از توجه شما

