

فیزیک مکانیک

فصل نهم: سیستم های ذرات، مرکز جرم و تکانه خطی

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
- از همکاران محترم در دانشگاه صنعتی قوچان که، با تلاش بسیار، امکان ارائه آنلاین این مجموعه درس را فراهم آورده اند، سپاسگزارم.

- ۱ فصل نهم: سیستم های ذرات، مرکز جرم و تکانه خطی
- برخورد کشسان در یک بعد
 - برخورد کشسان در دو بعد
 - حرکت سیستم های با جرم متغیر

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.
- 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

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

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

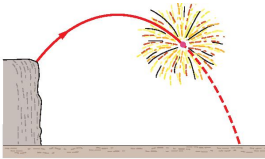
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

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

قوانین نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار هستند.

پرسش: تاکنون قوانین مکانیک را برای یک تک ذره نوشته ایم. آیا می توان این قوانین را برای سیستم های ذره نیز نوشت؟

تکانه و قانون دوم نیوتن برای سیستم های ذره



قضیه: نیروی کل خارجی وارده به یک سیستم ذره برابر است با جرم کل سیستم ضربدر شتاب مرکز جرم:

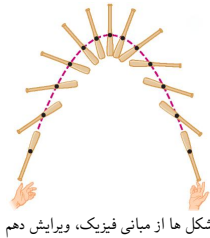
$$\vec{F}_{tot, ext} = M \vec{a}_{com}$$

حاصلضرب جرم جسم در سرعت آن را بردار تکانه خطی (linear momentum) و یا بردار اندازه حرکت خطی جسم می نامند:

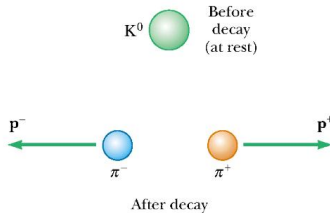
$$\vec{p} = m \vec{v}$$

قضیه: نیروی کل خارجی وارده به یک سیستم ذره برابر است با آهنگ تغییر در تکانه کل سیستم:

$$\vec{F}_{tot, ext} = \frac{d}{dt} \vec{P}$$



پایستگی تکانه



قضیه: اگر نیروی کل خارجی وارد شده به سیستم صفر باشد، تکانه سیستم ثابت باقی می ماند:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f$$

این قضیه یکی از مهمترین نتایج مکانیک کلاسیک است.

اثبات: اگر نیروی کل خارجی وارده به سیستم صفر باشد، و همچنین ذرات از سیستم خارج نشوند و یا به آن وارد نشوند (یعنی سیستم بسته باشد)، آنگاه بنا به رابطه بین تکانه و نیرو داریم:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{P} = cte \Rightarrow \vec{P}_i = \vec{P}_f$$

در صورت وجود برهمکنش های داخلی در سیستم، باز هم قضیه بالا درست خواهد بود.

این قضیه را در مساله برخورد مورد استفاده قرار خواهیم داد (نیروهای دخیل در برخورد داخلی محسوب می شوند). در واقع در زمان برخورد ممکن است نیروهای خارجی صفر نباشند، ولی از آنجا که اندازه این نیروها در قیاس با نیروهای برخوردی بسیار کوچک است، می توان از آنها صرفنظر کرد. بنابراین باز هم پایستگی تکانه (با تقریب بسیار خوبی) برقرار خواهد بود.

مثال مقابل از واپاشی یک ذره را ببینید.

شکل از ویرایش هشتم مبانی فیزیک.

انواع برخورد

از اینجا روش دوم بررسی برخورد، یعنی استفاده از قوانین پایستگی، را شروع خواهیم کرد.

در همه برخوردها، نیروهای برخوردی بسیار بزرگتر از نیروهای خارجی هستند و بنابراین تکانه در برخورد پیوسته است:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

ولی ممکن است که پایستگی انرژی در برخورد حاکم نباشد.

نکته: از آنجا که برخورد در یک نقطه بسیار محدود رخ می دهد، انرژی پتانسیل نیروهای خارجی قبل و برخورد از برخورد ثابت است؛ بنابراین اگر پایستگی انرژی برقرار باشد داریم:

$$K_i + U = K_f + U \Rightarrow K_i = K_f$$

یعنی اگر پایستگی انرژی برقرار باشد، در واقع انرژی جنبشی کل، قبل و بعد از برخورد ثابت باقی می ماند. دو حالت مختلف (و یک مورد خاص مهم) ممکن است اتفاق بیفتد:

برخورد کشسان (الاستیک): اگر انرژی جنبشی کل سیستم در حین برخورد تغییر نکند، می گوئیم برخورد کشسان است. در این صورت داریم:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad \text{and} \quad K_i = K_f$$

برخورد ناکشسان (غیر الاستیک): اگر قسمتی از انرژی جنبشی در حین برخورد از بین برود (مثلا به نوع دیگری از انرژی مانند انرژی حرارتی، صوتی، روشنایی و ... تبدیل شود)، می گوئیم برخورد ناکشسان است. در برخورد ناکشسان فقط شرط پایستگی تکانه برقرار است:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

برخورد کاملاً ناکشسان (کاملاً غیر الاستیک): بیشترین هدررفت انرژی وقتی رخ می دهد که دو جسم پس از برخورد به هم بچسبند. این مورد را برخورد کاملاً ناکشسان می نامیم. در این حالت نیز فقط شرط پایستگی تکانه برقرار است:

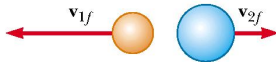
$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

Before collision



(a)

After collision

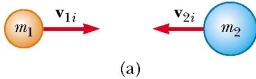


(b)

مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.

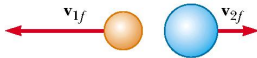
برخورد کشسان

Before collision



(a)

After collision



(b)

برخورد کشسان (الاستیک): اگر انرژی جنبشی کل سیستم در حین برخورد تغییر نکند، می گوییم برخورد کشسان است. در این صورت داریم:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad \text{and} \quad K_i = K_f$$

فرض کنید، مانند شکل مقابل، دو جسم با جرم های m_1 و m_2 و به ترتیب با سرعت های اولیه v_{1i} و v_{2i} با هم برخورد می کنند. برخورد کشسان است. پس از برخورد دو جسم با سرعت های نهایی v_{1f} و v_{2f} حرکت می کنند. سرعت های نهایی را بر اساس سرعت های اولیه بیابید.

از قانون پایستگی تکانه می دانیم که تکانه کل سیستم قبل از برخورد با تکانه کل سیستم برابر است:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \Rightarrow m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

در اینجا سرعت ها جبری هستند (یعنی می توانند مثبت و یا منفی باشند).

با توجه به اینکه برخورد کشسان است، می دانیم که انرژی جنبشی کل قبل از برخورد برابر انرژی جنبشی کل پس از برخورد است:

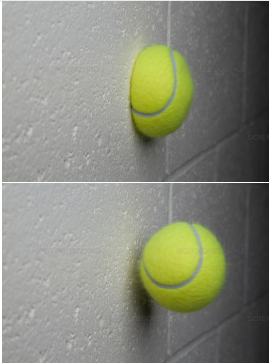
$$K_i = K_f \Rightarrow \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

تمرین: دو معادله بالا را به صورت همزمان حل کرده و نشان دهید که سرعت های نهایی پس از برخورد چنین هستند:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

موارد آشنا از برخورد کشسان: برخورد توپ به دیوار



همانطور که در اسلاید قبل دیدیم، سرعت های نهایی پس از برخورد به صورت زیر هستند:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

این نتیجه به نظر بسیار پیچیده می آید ولی در زندگی روزمره بارها مشاهده می شود! برای اینکه این نکته را درک کنیم، حالت ساده شده ای را فرض کنید که هدف در ابتدا ساکن است؛ یعنی $v_{2i} = 0$. در این صورت داریم:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

حال به مثال های زیر دقت کنید.

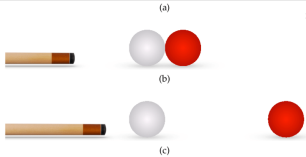
۱- اگر جرم هدف بسیار بیشتر از جرم پرتابه باشد، یعنی $m_1 \ll m_2$ ، داریم:

$$v_{1f} = \lim_{m_1 \ll m_2} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \simeq -v_{1i}$$

$$v_{2f} = \lim_{m_1 \ll m_2} \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \simeq 0$$

مثلا وقتی تویی را به سمت دیوار پرتاب می کنیم، توپ (پرتابه) با سرعت معکوس بازگشته و دیوار (هدف) بدون حرکت باقی می ماند.

موارد آشنا از برخورد کشسان: برخورد دو توپ همسان



همانطور که در اسلایدهای قبل دیدیم، سرعت های نهایی پس از برخورد به صورت زیر هستند:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

این نتیجه به نظر بسیار پیچیده می آید ولی در زندگی روزمره بارها مشاهده می شود! برای اینکه این نکته را درک کنیم، حالت ساده شده ای را فرض کنید که هدف در ابتدا ساکن است؛ یعنی $v_{2i} = 0$. در این صورت داریم:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

حال به مثال های زیر دقت کنید.

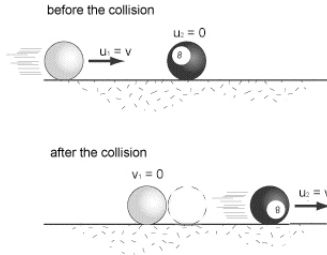
۲- اگر جرم هدف دقیقاً برابر جرم پرتابه باشد، یعنی $m_1 = m_2$ ، داریم:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} = 0$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} = v_{1i}$$

مثلاً وقتی توپ پرتابه به توپ هدف (ساکن) برخورد می کند، پرتابه متوقف می کند و هدف با سرعت پرتابه شروع به حرکت می کند.

فیلم را ببینید.



موارد آشنا از برخورد کشسان: پرتابه بسیار سنگین

همانطور که در اسلاید قبل دیدیم، سرعت های نهایی پس از برخورد به صورت زیر هستند:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

این نتیجه به نظر بسیار پیچیده می آید ولی در زندگی روزمره بارها مشاهده می شود! برای اینکه این نکته را درک کنیم، حالت ساده شده ای را فرض کنید که هدف در ابتدا ساکن است؛ یعنی $v_{2i} = 0$. در این صورت داریم:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

حال به مثال های زیر دقت کنید.

۳- اگر جرم پرتابه بسیار بزرگتر از جرم هدف باشد، یعنی $m_1 \gg m_2$ ، داریم:

$$v_{1f} = \lim_{m_1 \gg m_2} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \simeq v_{1i}$$

$$v_{2f} = \lim_{m_1 \gg m_2} \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \simeq 2v_{1i}$$

یعنی سرعت پرتابه تقریباً بدون تغییر باقی می ماند ولی هدف با سرعتی دو برابر پرتابه به جلو پرتاب می شود.

مثال: برخورد ماشین به یک جسم سبک.



برخورد کشسان در دو بعد: فیزیک بلیارد

برخورد کشسان (الاستیک): اگر انرژی جنبشی کل سیستم در حین برخورد تغییر نکند، می گوییم برخورد کشسان است. در این صورت داریم:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad \text{and} \quad K_i = K_f$$

با توجه به قانون پایستگی تکانه در حالت کلی برای برخورد دو ذره می توان نوشت:

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx}$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy}$$

حال با توجه به شکل پایین برای پایستگی تکانه داریم (هدف ساکن است $\vec{v}_{2i} = \vec{0}$):

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} \cos \theta + m_2 v_{2f} \cos \phi$$

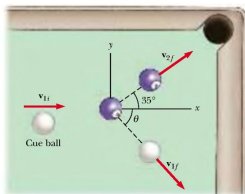
$$0 = m_1 v_{1f} \sin \theta - m_2 v_{2f} \sin \phi$$

همچنین، با توجه به ثابت بودن انرژی جنبشی در حین برخورد می توان نوشت:

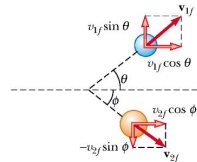
$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

در مجموع یک دستگاه شامل سه معادله و چهار مجهول ($\phi, \theta, v_{1f}, v_{2f}$) داریم که البته قابل حل نیست مگر اینکه یکی از مجهولات (مثلا زاویه پراکندگی یکی از ذرات) از طریق آزمایش تعیین شود.

شکل از ویرایش هشتم مبانی فیزیک هالیدی.



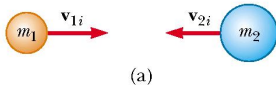
(a) Before the collision



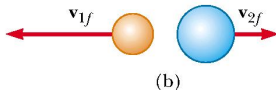
(b) After the collision

مورد بسیار مهم برخوردهای ناکشسان (مطالعه آزاد)

Before collision



After collision



اکثر برخوردهای روزمره تا حد زیادی ناکشسان هستند زیرا معمولاً مقداری از انرژی در حین برخورد تبدیل می شود.

برخوردهای ناکشسان یک بعدی را می توان، در صورتی که مقدار هدررفت انرژی معلوم باشد، به راحتی حل کرد. روش کلی به این صورت است که بنا به آزمایش می دانیم که انرژی جنبشی ثانویه α برابر انرژی جنبشی اولیه است:

$$K_f = \alpha K_i$$

در اینجا $0 < \alpha < 1$ ؛ یعنی مقدار $1 - \alpha$ برابر انرژی جنبشی اولیه در حین برخورد به انواع دیگر انرژی تبدیل شده است. هرچند تعیین مقدار دقیق این هدررفت از لحاظ آزمایشگاهی چندان آسان نیست؛ ولی، در صورت تعیین این مقدار، می توان مساله برخورد ناکشسان یک بعدی را حل کرد.

برخوردهای ناکشسان دو بعدی را، حتی در صورتی که مقدار هدررفت انرژی معلوم باشد، در حالت کلی نمی توان حل کرد زیرا تعداد مجهولات همچنان بیشتر از تعداد معلومات است. هرچند اگر اطلاعات اضافه ای در دسترس باشد (مثلاً زاویه پراکندگی یکی از ذرات)، می توان مساله را حل کرد.

شکل ها از ویرایش هشتم مبانی فیزیک هالیدی.

پرندهگان مختلف چطور پرواز می کنند؟



سیستم های با جرم متغیر و یا مساله موشک (مطالعه آزاد)

ناکنون فرض کرده ایم که جرم سیستم های مورد بررسی ثابت باقی می ماند. اندکی بررسی معادله

$$\vec{F} = d\vec{P}/dt$$

مشخص می کند که اگر جرم سیستم ثابت نباشد، تکانه سیستم تغییر می کند. این اساس کار موشک است. یعنی گازها از موشک خارج شده و به صورت مداوم جرم موشک کاهش می یابد؛ در نتیجه موشک نیروی پیش رانش را حس می کند.

چه اتفاقی می افتد؟ موشک با سرعت v (نسبت به ما) و جرم M در حال حرکت است. لحظه ای بعد، در زمان dt ، جرم موشک $M + dM$ است (dM منفی است، یعنی موشک جرم از دست می دهد) و سرعت موشک برابر $v + dv$ می باشد. گاز خروجی دارای جرم $-dM$ است که با سرعت U نسبت به ما از موشک خارج می شود. از قانون پایستگی تکانه داریم:

$$P_i = P_f \Rightarrow Mv = -dMU + (M + dM)(v + dv)$$

یعنی در واقع تکانه خطی کل، قبل و بعد از برخورد، برابر است.

اگر v_{rel} سرعت خروج گازها نسبت به موشک باشد داریم:

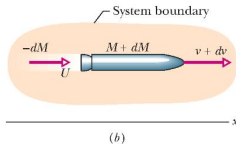
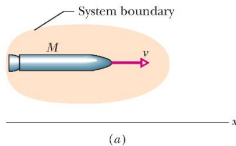
$$v + dv = v_{rel} + U \Rightarrow U = v + dv - v_{rel}$$

با جایگذاری رابطه اخیر در قانون پایستگی تکانه داریم:

$$Mv = -dM(v + dv - v_{rel}) + (M + dM)(v + dv)$$

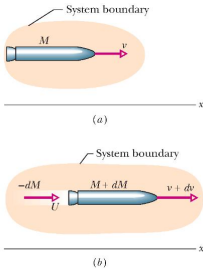
$$\Rightarrow -v_{rel} dM = Mdv$$

این رابطه را "معادله اول موشک" می نامند که آن را در ادامه بحث خواهیم کرد.



مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.

سرعت موشک در هر لحظه از زمان



با انتگرال گیری از معادله اول موشک داریم (جداسازی متغیرها):

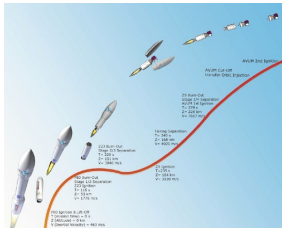
$$-dM v_{rel} = M dv \quad \Rightarrow \quad -v_{rel} \frac{dM}{M} = dv$$

$$-v_{rel} \int_{M_i}^{M_f} \frac{dM}{M} = \int_{v_i}^{v(t)} dv \quad \Rightarrow \quad v(t) = v_i + v_{rel} \ln \left(\frac{M_i}{M_f} \right)$$

سرعت نهایی موشک به سرعت خروج گازها (v_{rel}) و نسبت جرم اولیه به نهایی سیستم (M_i / M_f) ربط دارد.

شکل ها از ویرایش هشتم و technewsworld .

Saturn V



نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی بحث برخورد کشسان و حرکت سیستم های با جرم متغیر را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ برخورد کشسان چیست؟
- ۲ قوانین حاکم بر برخورد کشسان را توضیح دهید.
- ۳ اگر در یک برخورد کشسان یک بعدی، پرتابه ای با یک هدف بسیار سنگین برخورد کند چه اتفاقی می افتد؟
- ۴ اگر در یک برخورد کشسان یک بعدی، پرتابه ای بسیار سنگین با یک هدف سبک برخورد کند چه اتفاقی می افتد؟
- ۵ اگر در یک برخورد کشسان یک بعدی، پرتابه با هدفی هم جرم برخورد کند چه اتفاقی می افتد؟
- ۶ چرا برخوردهای کشسان دو بعدی صرفاً به کمک قوانین پایستگی حل نمی شوند؟ چطور می توان این مسائل را حل کرد؟
- ۷ چطور مسائل برخورد ناکشسان را حل کنیم؟
- ۸ فیزیک نیروی پیشران موشک را توضیح دهید.
- ۹ سرعت نهایی موشک به چه عواملی بستگی دارد؟

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.



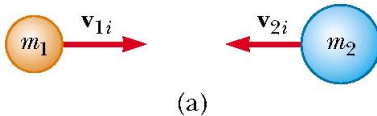
تمرین

دو شرط پایداری تکانه خطی و پایداری انرژی در برخورد کشسان یک بعدی را به صورت همزمان حل کرده و نشان دهید که سرعت های نهایی پس از برخورد چنین هستند:

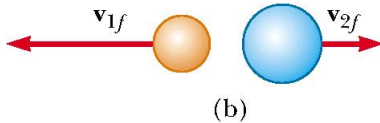
$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

Before collision

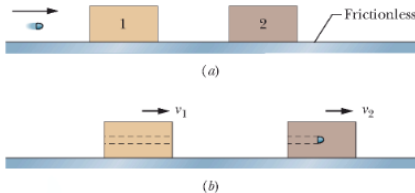


After collision



تمرین

- ۱- در شکل مقابل گلوله ای به جرم ۵ گرم به صورت افقی به سوی دو قطعه چوبی شلیک می شود. گلوله از قطعه اول به جرم ۱ کیلوگرم عبور میکند و وارد قطعه دوم به جرم ۲ کیلوگرم می شود و در آنجا گیر میکند. قطعات روی یک سطح بدون اصطکاک قرار دارند و سرعت نهایی قطعه ها به ترتیب $v_1 = 0.7 \text{ m/s}$ و $v_2 = 1.5 \text{ m/s}$ خواهد بود. از جرم کننده شده از قطعه اول صرف نظر کنید و سرعت گلوله موقع الف (وارد شدن و ب) خارج شدن از قطعه اول را بیابید. (راهنمایی: از پایستگی اندازه حرکت خطی استفاده کنید).
- شکل از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

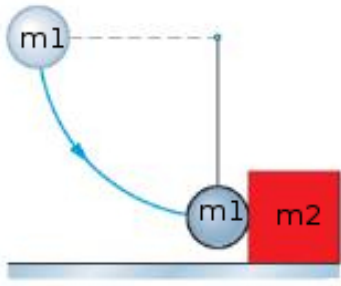


تمرین



- برخورد: در شکل مقابل $m_1 = 2 \text{ kg}$ ، $m_2 = 4 \text{ kg}$ ، ضریب سختی فنر $k = 100 \text{ N/m}$ و سطح زمین بدون اصطکاک است. جرم m_1 با سرعت اولیه $v_{1i} = 10 \text{ m/s}$ با جرم m_2 برخورد می کند و با سرعت نهایی $v_{1f} = 4 \text{ m/s}$ به سمت چپ برمی گردد. پیش از برخورد جرم دوم ساکن است.
- (الف) اگر سرعت جرم دوم بعد از برخورد را با v_{2f} نشان دهیم، پایداری تکانه را برای این سیستم قبل و بعد از برخورد بنویسید.
- (ب) با استفاده از نتیجه قسمت (الف) سرعت جرم دوم پس از برخورد، یعنی v_{2f} ، را بیابید.
- (پ) حرکت جرم دوم باعث می شود که فنر فشرده شود. حداکثر این فشرده گی را بیابید.
- شکل از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

تمرین



برخورد: در شکل مقابل جسم کروی شکل با جرم $m_1 = 2 \text{ kg}$ رها می شود. الف) اگر طول طناب $L = 3 \text{ m}$ باشد، با استفاده از پایستگی انرژی سرعت جرم m_1 را در پایین مسیرش پیدا کنید. این سرعت را v_{1i} بنامید. حال جسم اول در پایین مسیر با یک جسم مکعبی به جرم $m_2 = 4 \text{ kg}$ که در ابتدا ساکن است، یعنی $v_{2i} = 0$ ، برخورد "الاستیک" انجام می دهد. ب) پایستگی اندازه حرکت خطی را برای این برخورد بنویسید. پ) شرط برخورد الاستیک را نیز بنویسید. ت) با استفاده از دو معادله اخیر، سرعت های نهایی جسم اول v_{1f} و v_{2f} را بیابید.

شکل از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

تمرین

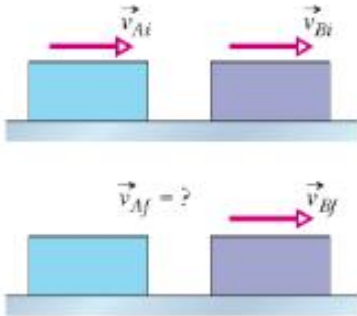
برخورد کشسان یک بعدی:

در شکل مقابل $m_A = 3 \text{ kg}$ ، $m_B = 5 \text{ kg}$ ، $v_{Ai} = 6 \text{ m/s}$ و $v_{Bi} = 4 \text{ m/s}$ می باشند. در اینجا i نشان دهنده حالت اولیه و f نشان دهنده حالت نهایی سیستم است.
(الف) پایستگی اندازه حرکت (تکانه) خطی را قبل و بعد از برخورد بنویسید.

(ب) با توجه به اینکه برخورد کشسان است انرژی های جنبشی قبل و بعد از برخورد چگونه به هم مربوط می شوند؟

(پ) سرعت های نهایی v_{Af} و v_{Bf} را بیابید. راهنمایی: برای اینکار می توانید دستگاه دو معادله بالا را حل کنید و یا اینکه مستقیماً از فرمول استفاده کنید.

شکل از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



مبحث بعدی: سینماتیک و دینامیک دورانی



- تاکنون فقط حرکت خطی اجسام را بررسی کرده ایم. در ادامه این درس، و تا انتهای ترم جاری، موضوع دوران اجسام صلب را بررسی خواهیم کرد.
- خواهیم دید که دینامیک حرکت های دورانی، از لحاظ ریاضیاتی، بسیار شبیه به دینامیک حرکت های خطی است.
- 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 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،
مراقب سلامت خود و اطرافیان خود
باشید.