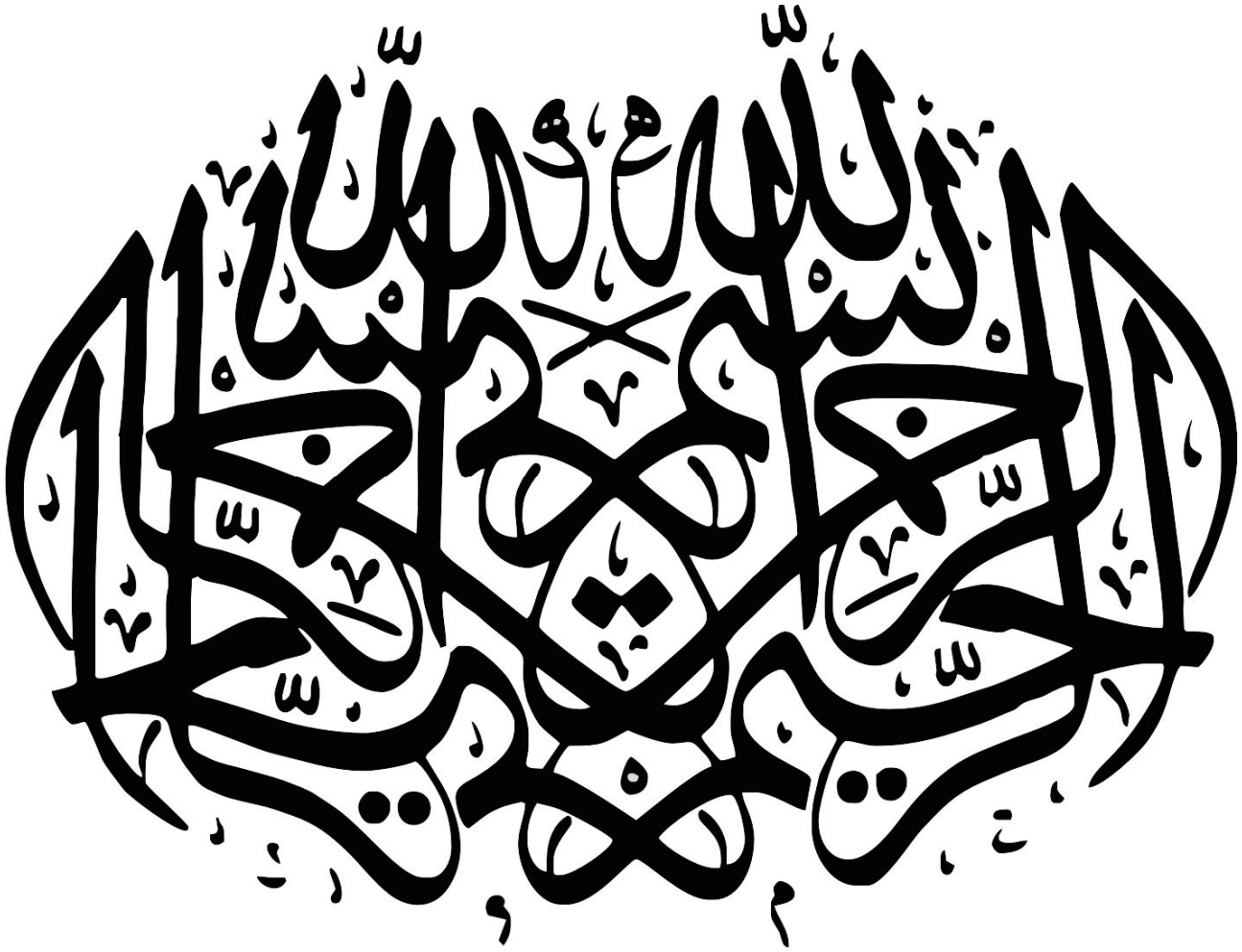
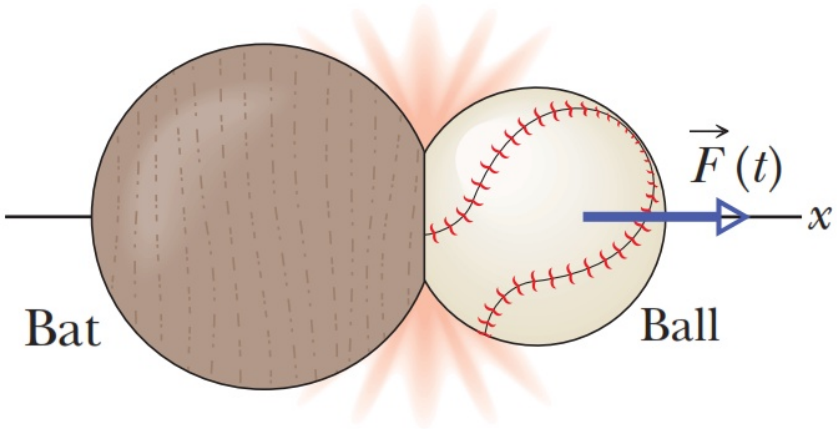


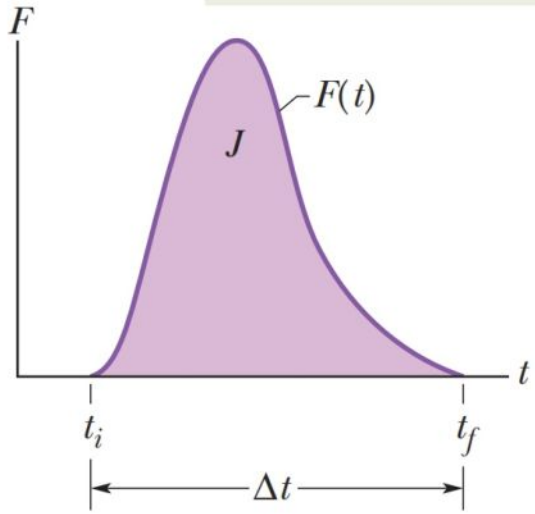
بررسی ضربه و برخورد با استفاده از ریل هوا

در برخورد دو جسم با همدیگر، نیروی بزرگی در مدت زمان بسیار کوتاه بین آن دو جسم رد و بدل می شود (در یک نقطه مکانی ثابت)

این نیرو تابعی از زمان می باشد



The impulse in the collision is equal to the area under the curve.

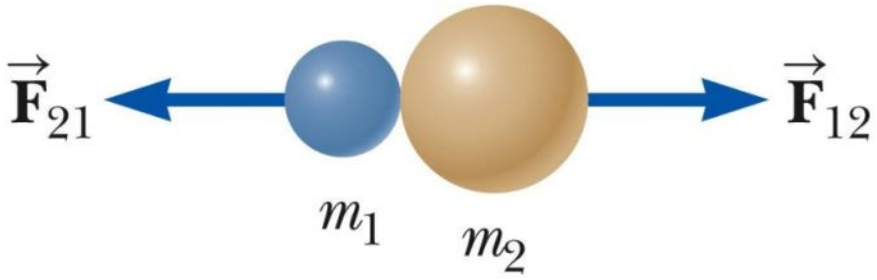


نکات:

– در برخورد نیروی بزرگ $\vec{F}$ در مدت کوتاه dt بر جسم اثر می گذارد و موجب تغییر تکانه خطی آن می شود

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} \qquad \rightarrow \qquad d\vec{P} = \vec{F}dt$$

– در برخورد دو جسم نیروی رد و بدل شده میان دو جسم به صورت نیروهای عمل و عکس العمل به دو جسم مجزا وارد می شود.



$$\vec{F}_{2\rightarrow 1} = -\vec{F}_{1\rightarrow 2}$$

۸- پایستگی تکانه در حین برخورد

نیروی ضربه: نیرویی که دو جسم در حال برخورد رد و بدل می شود دارای ویژگیهای زیر است:

بسیار بزرگ در برابر دیگر نیروهای وارد شده

مدت زمان عمل بسیار کوتاه (فرآیند آنی در یک نقطه)

نیروی ضربه یک نیروی داخلی است

پس با صرف نظر کردن از نیروهای خارجی؛ تکانه کل سیستم در حین برخورد تغییری نمی کند. یعنی تکانه دقیقا قبل از برخورد با تکانه دقیقا بعد از برخورد یکسان است

تکانه خطی بعد از برخورد = تکانه خطی قبل از برخورد

$$\vec{P}_t^{(1)} = \vec{P}_t^{(2)}$$

انواع برخوردها

۱- کشسان یا الاستیک

برقراری پایستگی تکانه خطی:

تکانه کل سیستم قبل از برخورد = تکانه کل سیستم بعد از برخورد

$$\vec{P}_{1i} + \vec{P}_{2i} = \vec{P}_{1f} + \vec{P}_{2f} \quad \rightarrow \quad m_1\vec{V}_{1i} + m_2\vec{V}_{2i} = m_1\vec{V}_{1f} + m_2\vec{V}_{2f}$$

برقراری پایستگی انرژی جنبشی:

انرژی جنبشی کل سیستم قبل از برخورد = انرژی جنبشی کل سیستم بعد از برخورد

$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2$$

انواع برخوردها

۲- ناکشسان یا غیرالاستیک

برقراری پایستگی تکانه خطی:

تکانه کل سیستم قبل از برخورد = تکانه کل سیستم بعد از برخورد

$$\vec{P}_{1i} + \vec{P}_{2i} = \vec{P}_{1f} + \vec{P}_{2f} \quad \rightarrow \quad m_1\vec{V}_{1i} + m_2\vec{V}_{2i} = m_1\vec{V}_{1f} + m_2\vec{V}_{2f}$$

فاقد پایستگی انرژی جنبشی:

انرژی جنبشی کل سیستم قبل از برخورد ≠ انرژی جنبشی کل سیستم بعد از برخورد

$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2 \neq \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2$$

انواع برخوردها

۳- کاملا ناکشسان: سرعت اجسام بعد از برخورد نسبت بهم دیگر صفر است. یا به عبارتی بعد از برخورد دو جسم به همدیگر متصل شده و باهم حرکت می نمایند

برقراری پایستگی تکانه خطی:

تکانه کل سیستم قبل از برخورد = تکانه کل سیستم بعد از برخورد

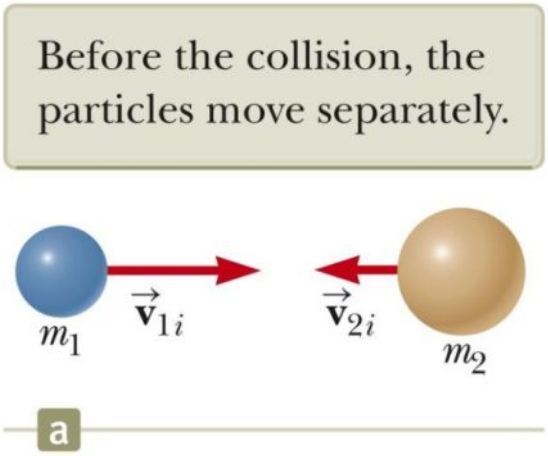
$$\vec{P}_{1i} + \vec{P}_{2i} = \vec{P}_{1f} + \vec{P}_{2f} \quad \rightarrow \quad m_1\vec{V}_{1i} + m_2\vec{V}_{2i} = (m_1 + m_2)\vec{V}_f$$

فاقد پایستگی انرژی جنبشی:

انرژی جنبشی کل سیستم قبل از برخورد ≠ انرژی جنبشی کل سیستم بعد از برخورد

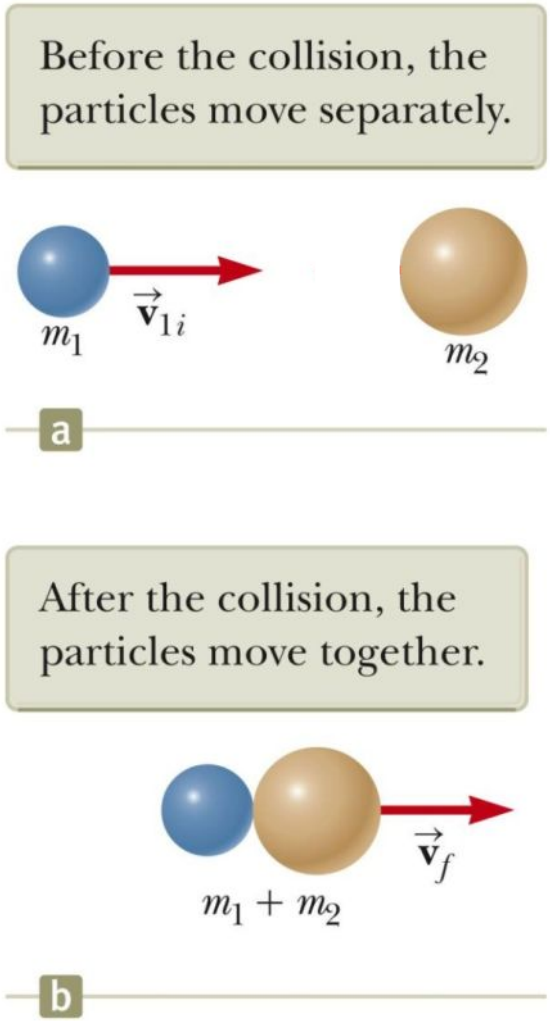
$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2 \neq \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_f^2$$

برخورد کاملا ناکشسان یک بعدی (۱):



$$m_1\vec{\mathbf{v}}_{1i} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2i} = (m_1 + m_2)\vec{\mathbf{v}}_f$$

برخورد کاملا ناکشسان یک بعدی (۲):



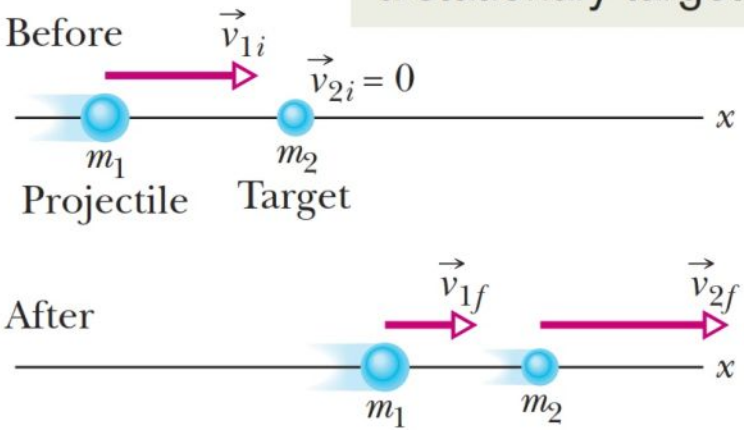
$$v_{2i} = 0$$

$$m_1 v_{1i} = (m_1 + m_2) V_f$$

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

برخورد کشسان یک بعدی (۱):

Here is the generic setup for an elastic collision with a stationary target.



$$v_{2i} = 0$$

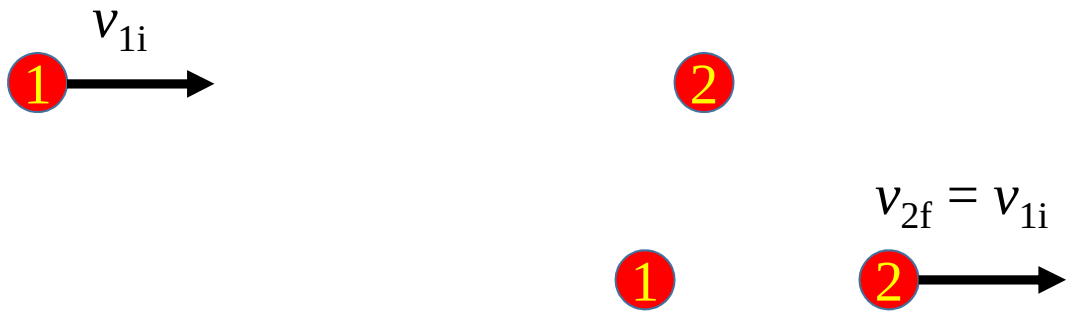
$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

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

حالت های خاص از برخورد کشسان یک بعدی: $v_{2i} = 0$

الف) هدف و پرتابه دارای جرم یکسان باشند $m_1 = m_2$

$$v_{1f} = 0 \quad \text{and} \quad v_{2f} = v_{1i}$$



حالت های خاص از برخورد کشسان یک بعدی:

ب) هدف خیلی سنگین تر از پرتابه

$$m_2 \gg m_1$$

$$v_{1f} \approx -v_{1i} \quad \text{and} \quad v_{2f} \approx \left(\frac{2m_1}{m_2}\right) v_{1i}$$

ج) پرتابه خیلی سنگین تر از هدف

$$m_1 \gg m_2$$

$$v_{1f} \approx v_{1i} \quad \text{and} \quad v_{2f} \approx 2v_{1i}$$

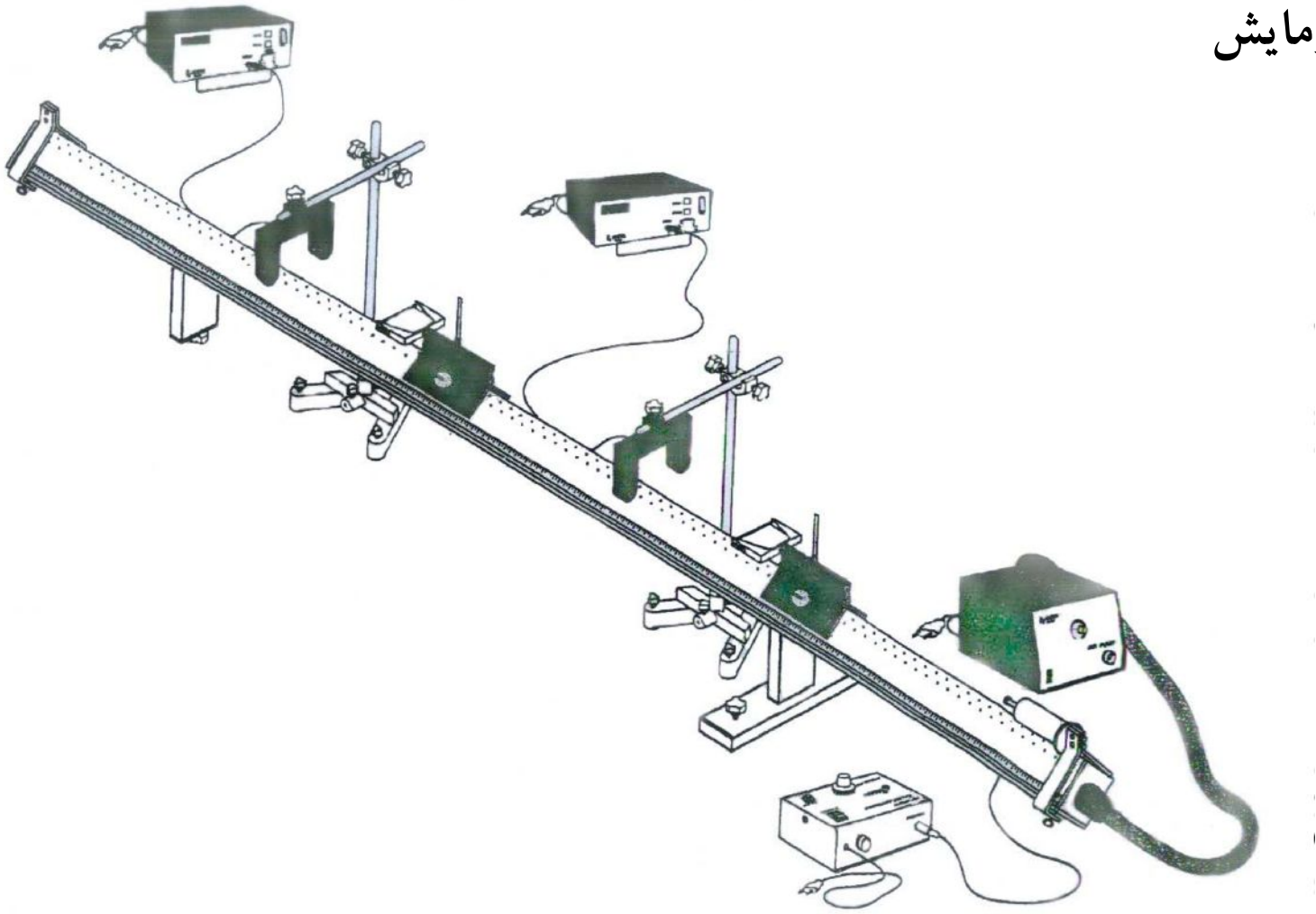
برخورد کشسان یک بعدی (۲):

Here is the generic setup for an elastic collision with a moving target.

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

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

دستگاه انجام آزمایش



آزمایش اول: بررسی برخورد کشسان در حالت $m_1 = m_2$

در این حالت جرم m_1 به جرم m_2 که ساکن است برخورد می‌کند. در این صورت جرم m_2 با همان سرعت جرم m_1 حرکت می‌کند و جرم m_1 که دارای حرکت بود ساکن می‌شود. به عبارت دیگر کل تکانه از جرم m_1 به جرم m_2 منتقل می‌شود. با توجه به قانون بقای تکانه‌ی خطی نتیجه می‌شود که:

$$m_1 v_1 + 0 = 0 + m_2 v_2' \quad \Rightarrow \quad v_1 = v_2' \qquad (۵)$$

و در این صورت به راحتی می‌توان نشان داد که قانون پایستگی انرژی نیز برقرار است.

روش انجام آزمایش اول:

۱- با استفاده از پیچ‌های روی پایه، ریل هوا را در حالت تراز قرار دهید.

۲- دو سنسور را به دستگاه شمارنده متصل کنید.

۳- از دو سره به همراه مانع U شکلی که روی آنها نصب می‌کنید، استفاده کرده و یکی (سره‌ی دوم) از آنها را بین دو سنسور و دیگری (سره‌ی اول) را خارج از فاصله‌ی بین دو سنسور و قبل از سنسور اول قرار دهید.

۴- حلقه‌های فنری را به گونه‌ای به سره‌ها متصل کنید که در لحظه‌ی برخورد دو سره، حلقه‌ها به هم برخورد کرده و برخورد الاستیک صورت گیرد.

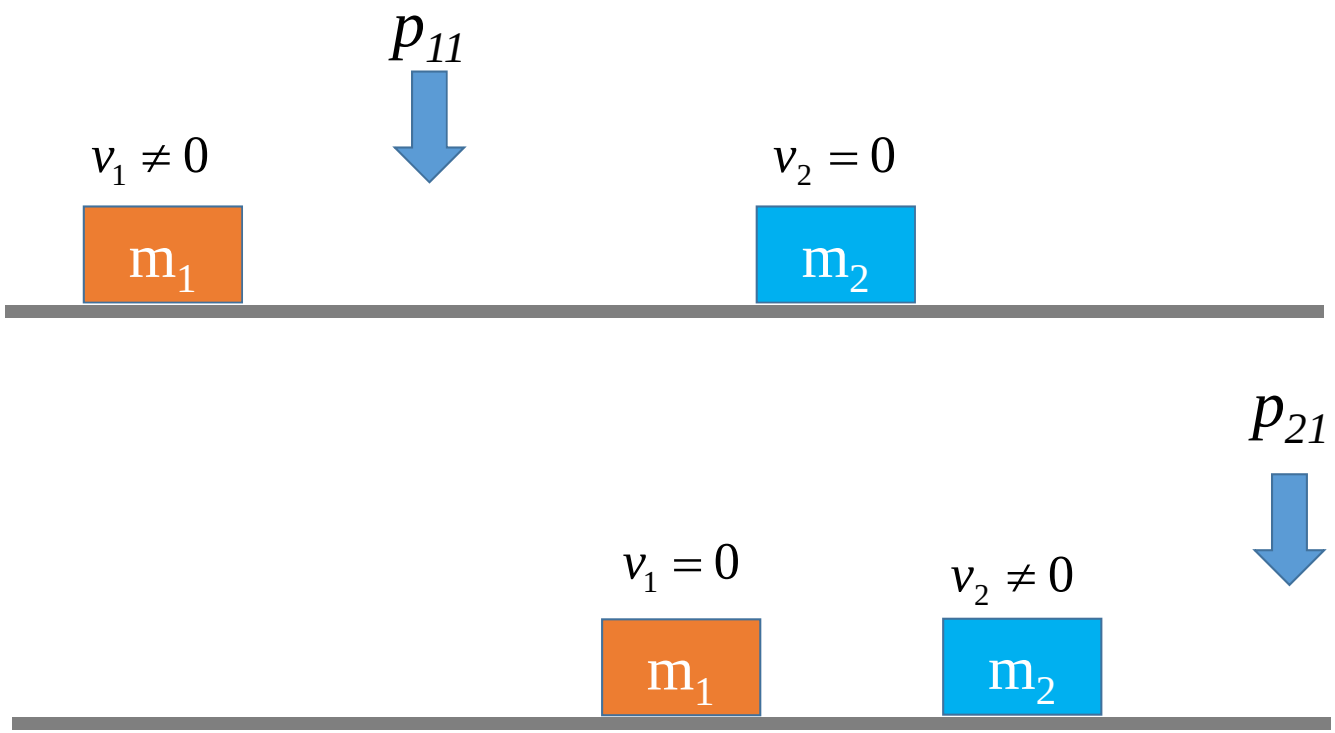
۵- زمان‌سنج را تنظیم کرده و پمپ هوا را روشن کنید.

۶- به سره‌ی اول سرعت اولیه بدهید و اجازه دهید از جلو سنسور اول عبور کند و به سره‌ی دوم که ساکن است برخورد کند. آنچه که مشاهده می‌کنید را یادداشت کنید.

۷- با توجه به زمان‌هایی که دستگاه برای سنسور اول و دوم به شما نشان می‌دهد و همچنین پهنای مانع U شکل، سرعت‌ها را به دست آورید و قانون بقای اندازه حرکت خطی و انرژی را برای قبل و بعد از برخورد مورد بررسی قرار دهید.

طول مانع U شکل = $X = 30\ \text{mm}$

$$v = \frac{x}{t}$$



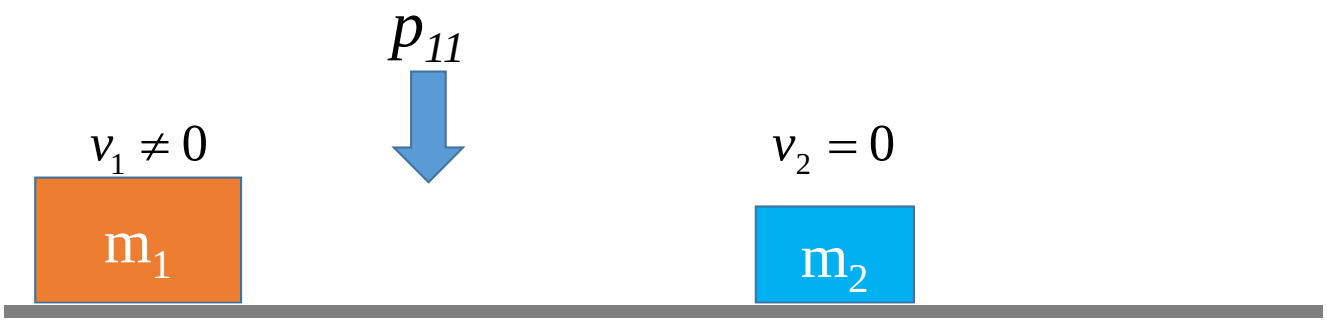
برخورد کشسان	$m_1(gr)$	$m_2(gr)$	$p_{11}(ms)$	$p_{21}(ms)$
$m_1 = m_2$				

آزمایش دوم: بررسی برخورد کشسان در حالت $m_1 > m_2$

در این حالت بعد از برخورد جرم m_1 به جرم m_2، از سرعت جرم m_1 کاسته شده و جرم m_2 که در حالت سکون قرار داشت، سرعت می‌گیرد و هر دو در یک راستا حرکت می‌کنند.

۱- در حالی که زمان‌سنج تنظیم شده و پمپ هوا روشن است، به سره‌ی اول سرعت بدهید و اجازه دهید از جلو سنسور اول عبور کرده و با سره‌ی دوم برخورد کند. آنچه مشاهده می‌کنید را یادداشت کنید.

۲- با توجه به زمان‌هایی که دستگاه برای سنسور اول و دوم به شما نشان می‌دهد و همچنین پهنای مانع U شکل، سرعت‌ها را به دست آورید و با اندازه‌گیری جرم سره‌ها، قانون بقای اندازه حرکت خطی و انرژی را برای قبل و بعد از برخورد مورد بررسی قرار دهید.



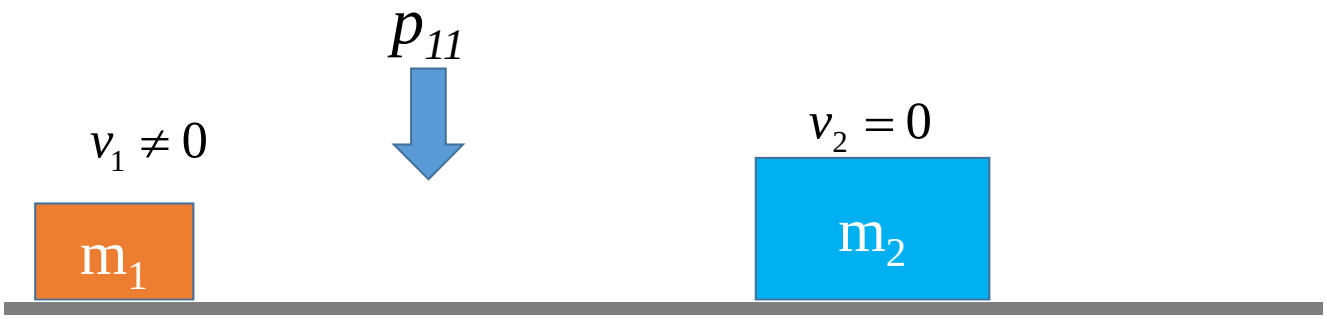
برخورد کشسان	$m_1(gr)$	$m_2(gr)$	$p_{11}(ms)$	$p_{21}(ms)$	$p_{22}(ms)$
$m_1 > m_2$					

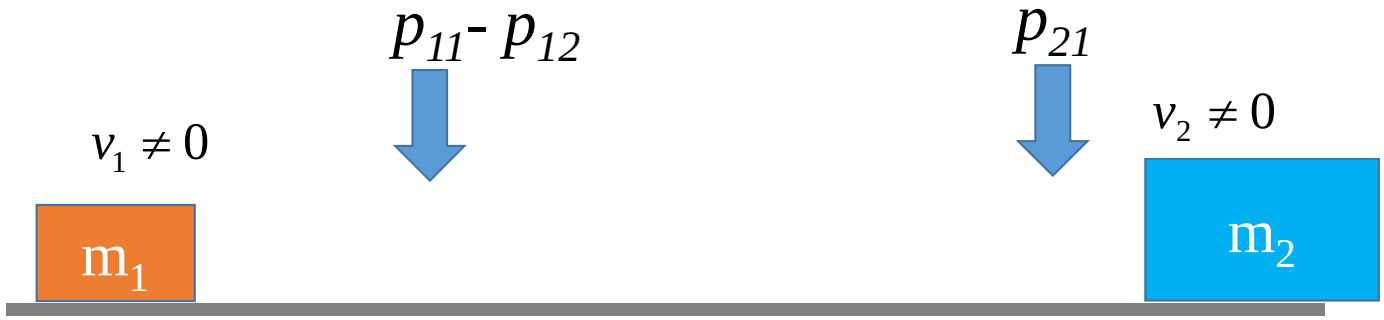
آزمایش سوم: بررسی برخورد کشسان در حالت $m_1 < m_2$

در این حالت جرم m_1 در اثر برخورد با جرم m_2 مقداری تکانه به آن منتقل کرده و بر می‌گردد.

روش انجام آزمایش سوم:

همان مراحل آزمایش دوم را تکرار کنید.

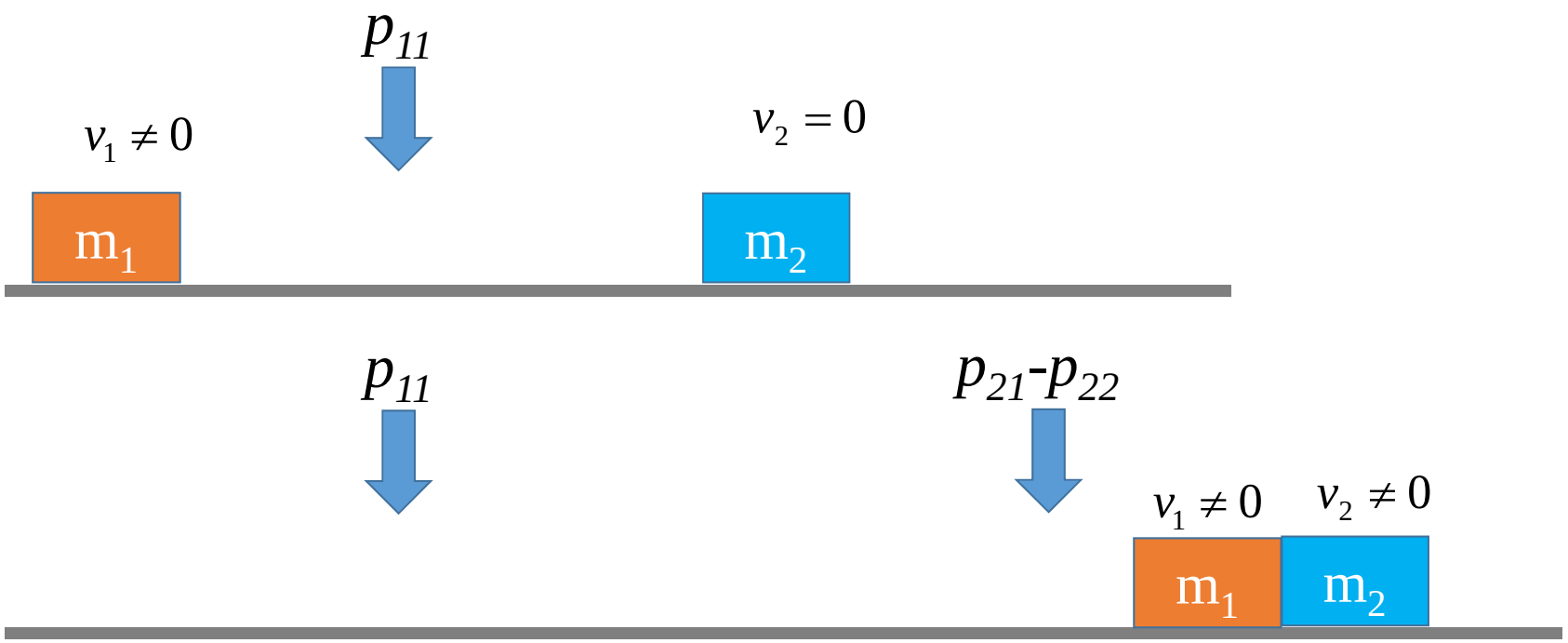




برخورد کشسان	$m_1(gr)$	$m_2(gr)$	$p_{11}(ms)$	$p_{12}(ms)$	$p_{21}(ms)$
$m_1 < m_2$					

آزمایش چهارم: بررسی برخورد غیرکشسان کامل

در این حالت به جای حلقه‌های فنری از تکه‌های چسب‌دار استفاده می‌کنیم تا بعد از برخورد، دو جسم با هم حرکت کنند. روش انجام آزمایش چهارم نیز همانند آزمایش دوم است با این تفاوت که در این حالت بقای انرژی برقرار نیست و باید میزان اتلاف انرژی نیز محاسبه گردد.



برخورد غیرکشسان کامل	$m_1(gr)$	$m_2(gr)$	$p_{11}(ms)$	$p_{21}(ms)$	$p_{22}(ms)$
$m_1 = m_2$					

Az9-4	Az9-3	Az9-2	Az9-1	شماره داده
X=30mm m1=m2=139.0gr p11=47.71ms p21=104.1ms p22=105.2ms	X=30mm m1=139.2gr m2=189.3gr p11=40.60ms p12=44.76ms p21=396.3ms	X=30mm m1=189.2gr m2=139.3gr p11=43.41ms p21=44.19ms p22=469.6ms	X=30mm m1=m2=139.3gr p11=62.26ms p21=63.50ms	۱
X=30mm m1=m2=130.4gr p11=59.54ms p21=118.1ms p22=120.3ms	X=30mm m1=139.2gr m2=189.3gr p11=40.60ms p12=44.33ms p21=396.0ms	X=30mm m1=189.2gr m2=139.3gr p11=43.41ms p21=44.00ms p22=469.0ms	X=30mm m1=m2=130.0gr p11=70.15ms p21=72.25ms	۲
X=40mm m1=m2=120.2gr p11=68.21ms p21=135.5ms p22=137.7ms	X=40mm m1=120.1gr m2=150.5gr p11=25.81ms p12=28.88ms p21=412.1ms	X=40mm m1=150.6gr m2=120.3gr p11=70.63ms p21=67.11ms p22=451.0ms	X=40mm m1=m2=120.2gr p11=83.00ms p21=85.01ms	۳

Az9-4	Az9-3	Az9-2	Az9-1	شماره داده
X=40mm m1=m2=125.4gr p11=61.61ms p21=121.1ms p22=123.7ms	X=40mm m1=125.2gr m2=150.1gr p11=27.53ms p12=31.33ms p21=297.7ms	X=40mm m1=150.3gr m2=130.8gr p11=47.78ms p21=48.25ms p22=248.00ms	X=40mm m1=m2=125.1gr p11=90.03ms p21=92.08 ms	۴
X=35mm m1=m2=120.4gr p11=55.56ms p21=110.1ms p22=112.1ms	X=35mm m1=130.3gr m2=145.5gr p11=30.02ms p12=33.21ms p21=385.5ms	X=35mm m1=145.3gr m2=120.1gr p11=50.27ms p21=56.44ms p22=189.00ms	X=35mm m1=m2=120.3gr p11=96.11ms p21=96.56ms	۵
X=35mm m1=m2=130.4gr p11=56.21ms p21=111ms p22=114.1ms	X=35mm m1=135.1gr m2=160.6gr p11=35.61ms p12=41.11ms p21=398.2ms	X=35mm m1=155.4gr m2=125.1gr p11=60.91ms p21=66.33ms p22=238.1ms	X=35mm m1=m2=130.7gr p11=58.61ms p21=59.35 ms	۶