

آزمایش ۹: بررسی ضربه و برخورد با استفاده از ریل هوا

هدف: بررسی ضربه و برخورد دو جسم در یک بعد با استفاده از ریل هوا در حالت‌های کشسان و غیرکشسان.

دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 با سرعت‌های \vec{v}_1 و \vec{v}_2 به یکدیگر نزدیک شده و پس از برخورد، با سرعت‌های \vec{v}'_1 و \vec{v}'_2 از یکدیگر جدا می‌شوند. در حین برخورد و در مدت زمان کوتاهی دو جسم به یکدیگر نیروی قابل ملاحظه‌ای وارد می‌کنند. تغییرات این نیرو نسبت به زمان بسیار سریع است. نیرو از مقدار کمینه‌ی خود به سرعت افزایش می‌یابد تا به بیشینه‌ی خود برسد و سپس به سرعت افت کرده و حذف می‌شود. این نیرو که طبق قانون سوم نیوتون به هر دو جسم، مساوی و در خلاف جهت وارد می‌شود نیروی برخوردی یا ضربه‌ای نام دارد. اگر نیروی برخوردی را داشته باشیم، با توجه به قانون دوم نیوتون ($\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$) که در آن $\vec{p} = m\vec{v}$ اندازه حرکت جسم است) می‌توان سرعت بعد از برخورد اجسام را (\vec{v}'_1 و \vec{v}'_2) به دست آورد. به خاطر کوتاه بودن زمان برخورد به طور معمول این نیرو شناخته شده نیست، اما می‌توان با توجه به نحوه‌ی تغییرات اندازه حرکت، از سرعت نهایی ذرات آگاهی پیدا کرد.

در یک برخورد مجموع اندازه حرکت دو جسم قبل و بعد از برخورد با وجود تغییر هر کدام در اثر نیروی ضربه‌ای، ثابت باقی می‌ماند و در حالت یک بعدی می‌توان نوشت:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (1)$$

نکته‌ای که باید مدنظر قرار گیرد این است که در همه‌ی انواع برخوردها، اصل بقای اندازه حرکت خطی برقرار است. از طرف دیگر برای محاسبه‌ی سرعت بعد از برخورد نیاز به معادله‌ی دیگری است که می‌توان آن را با توجه به قانون بقای انرژی معرفی کرد:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 + Q \quad (2)$$

که در آن Q مقدار انرژی است که در هنگام برخورد به اشکال دیگر انرژی (گرمایی یا صوتی) تبدیل می‌شود. در حالت خاص اگر $Q = 0$ باشد، برخورد کشسان (الاستیک) نامیده می‌شود و قانون بقای انرژی جنبشی نیز برقرار است. در این صورت به راحتی می‌توان دستگاه معادلات حاکم بر سرعت را حل نمود و سرعت ذرات بعد از برخورد را به دست آورد:

$$v_1' = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)v_1 + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right)v_2 \quad ; \quad v_2' = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)v_2 + \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right)v_1 \quad (3)$$

اگر $Q \neq 0$ باشد، برخورد غیرکشسان صورت می‌گیرد. در یک برخورد غیرکشسان کامل دو ذره بعد از برخورد به یکدیگر می‌چسبند و با سرعت $v_1' = v_2' = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$ حرکت می‌کنند.

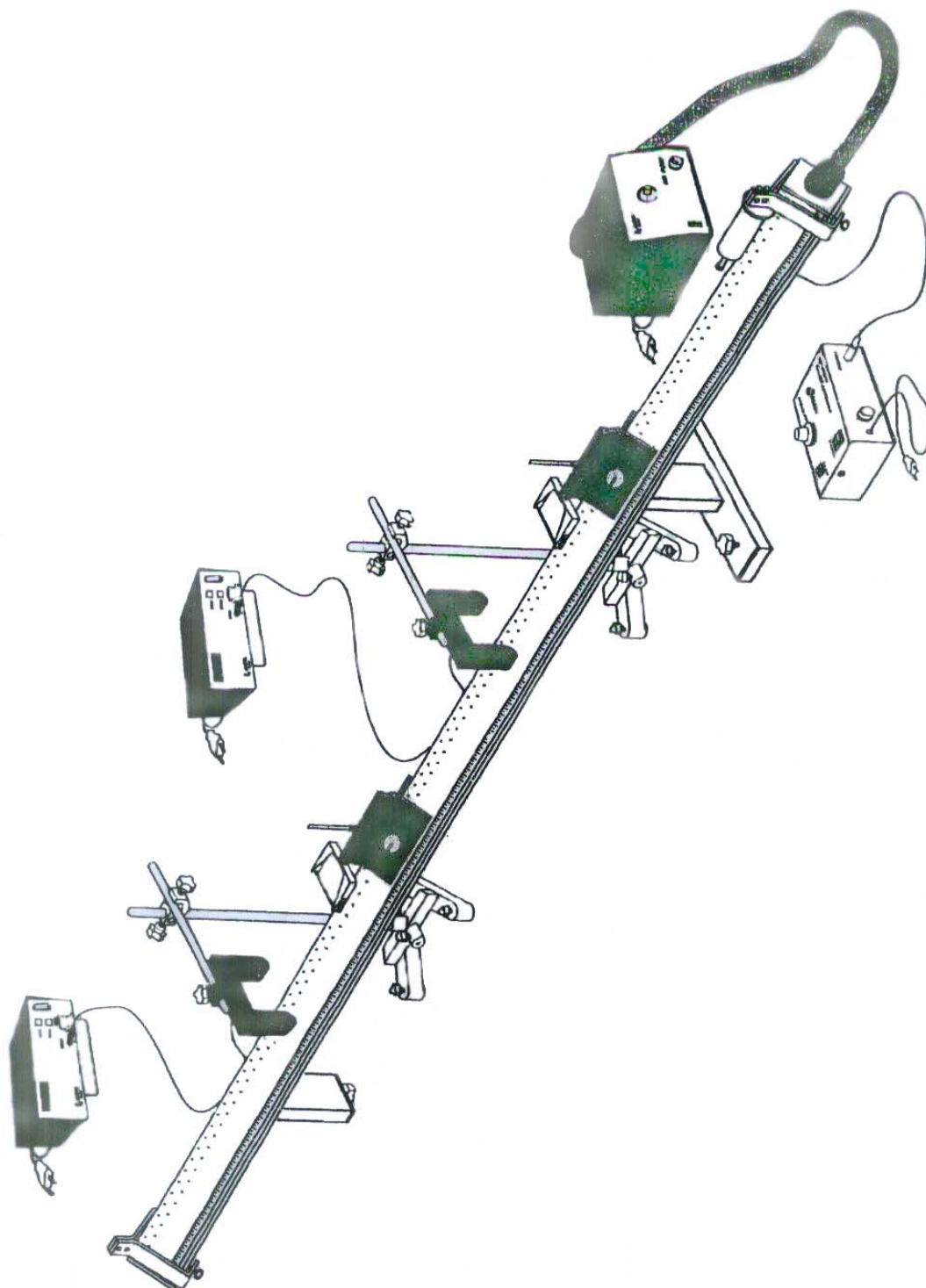
در صورتی که سرعت‌های دو جسم قبل و بعد از برخورد در یک امتداد باشند، قدرمطلق سرعت‌های نسبی دو جسم قبل و بعد از برخورد ضریب بازگشت نامیده شده و با e نشان داده می‌شود:

$$e = \left| \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} \right| \quad (4)$$

این ضریب برای برخورد الاستیک برابر با یک، برای برخورد غیرکشسان کوچکتر از یک و در حالت برخورد غیرکشسان کامل برابر با صفر می‌شود.

ایجاد یک برخورد در شرایط ایده‌آل و بدون دخالت نیروهای خارجی (نیروی اصطکاک) در هنگام برخورد، مشکلاتی خواهد داشت. بنابراین برای انجام هرچه بهتر این آزمایش از ریل هوا استفاده می‌شود. با این دستگاه در آزمایش تحقیق قوانین نیوتون نیز آشنا شده‌اید و به راحتی می‌توانید سرعت یک جسم را با اندازه‌گیری زمان

از طریق سنسور و دستگاه زمان‌سنج به دست آورید. در این دستگاه حرکت اجسام کاملاً افقی می‌باشد و در حین برخورد می‌توان از حلقه‌های فنی برای ایجاد یک برخورد کشسان استفاده کرد.



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:

$$m_1 v_1 + 0 = 0 + m_2 v_2' \Rightarrow v_1 = v_2' \quad (5)$$

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- زمان سنج 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.

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.

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

روش انجام آزمایش دوم:

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.



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 برمی گردد.

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