

آزمایش شماره ۸ برخورد (بقای تکانه)

وقتی دو یا چند جسم بدون حضور نیروهای خارجی طوری به هم نزدیک شوند که بین آنها نوعی برهم کنش رخ دهد، می‌گوییم برخوردی صورت گرفته است. اغلب در برخوردها خواستار این هستیم که نوعی برهم کنش بین ذرات میکروسکوپی را توصیف کنیم. در برخوردها می‌توان با اندازه‌گیری انرژی و توزیع زاویه‌ای ذرات پراکنده شده، اطلاعات مفیدی درباره‌ی ساختار و طبیعت نیروهای درگیر به دست آورد.

با اعمال قوانین پایستگی، جزئیات زیادی از برخورد را، بدون آگاهی زیادی از طبیعت برهم کنش یا نیرو، می‌توان پیش‌گویی کرد.

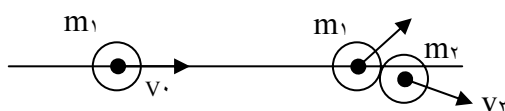
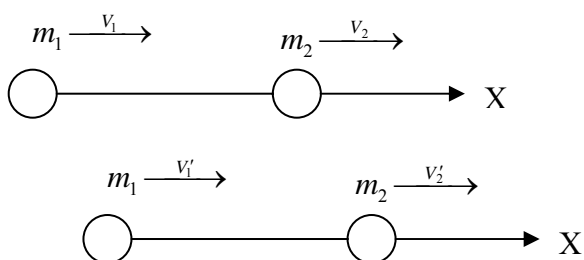
برخوردها دو دسته‌اند: (۱) کشسان (۲) ناکشسان

برخوردهای کشسان، برخوردهایی هستند که در آن انرژی جنبشی و تکانه‌ی خطی پایسته است. برخوردهای ناکشسان، برخوردهایی هستند که در آن تنها تکانه‌ی خطی پایسته است، اما انرژی جنبشی پایسته نیست.

تحلیل برخوردهای کشسان در یک بعد و دو بعد

برخورد یک بعدی: در این نوع برخورد راستای حرکت هر دو جرم (حرکت مرکز جرم)، هم قبل از برخورد و هم بعد از برخورد روی یک خط قرار دارد. برای برخورد کشسان داریم:

$$\begin{cases} m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \\ \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \end{cases}$$

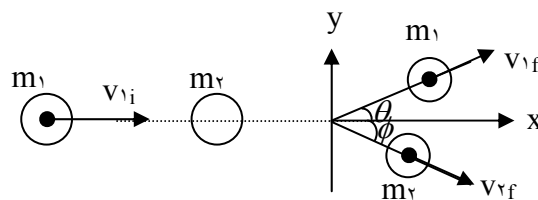


برخورد در دوبعد :

فرض کنید جرم m_1 با سرعت v_0 به جرم ساکن m_2 برخورد کند .

ساکن بودن جسم m_2 قبل از برخورد از کلیت مسأله کم نمی کند . چرا که اگر هم m_2 در حرکت باشد ، می توانیم برخورد را از دید دستگاه مرجعی که با سرعت یکی از دو جرم مثلاً m_2 حرکت می کند ، در نظر بگیریم . در برخورد دو بعدی اجسام پس از برخورد روی امتداد اولیه حرکت نمی کنند ، بلکه هریک با زاویه ای نسبت به آن امتداد به حرکت خود ادامه می دهند ، ولی مرکز جرم روی همان امتداد اولیه حرکت می کند ، چون نیروی خارجی بر سیستم وارد نمی شود . در برخورد کشسان داریم :

$$p_i = p_f \Rightarrow \begin{cases} p_{1i} + p_{2i} = p_{1f} + p_{2f} \\ k_{1i} + k_{2i} = k_{1f} + k_{2f} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} \cos \theta + m_2 v_{2f} \cos \phi \\ 0 = m_1 v_{1f} \sin \theta - m_2 v_{2f} \sin \phi \\ \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \end{cases}$$



که در آن v_{1i} سرعت جسم اول قبل از برخورد و v_{1f} و v_{2f} سرعت های دو جسم پس از برخورد هستند .

برخوردهای ناکشسان :

در وضعیت واقعی انرژی جنبشی یک سیستم قبل و بعد از برخورد یکسان نیست . یعنی انرژی جنبشی پایسته نمی ماند . به عنوان مثال ، اتم ها ، ملکول ها و هسته ها دارای انرژی جنبشی و

پتانسیل هستند . وقتی چنین ذراتی برخورد می کنند ، انرژی جنبشی می تواند جذب یا آزاد شود . به برخوردهایی که در آنها انرژی جنبشی نهایی کمتر از انرژی جنبشی اولیه است ، یعنی انرژی جذب می شود ، برخوردهای انرژی گیر می گوئیم . به برخوردهایی که در آنها انرژی جنبشی نهایی بیشتر از انرژی جنبشی اولیه است ، یعنی انرژی جنبشی آزاد شده است ، برخوردهای انرژی زا می گوئیم . به این ترتیب اگر انرژی جنبشی اولیه را با k_i و انرژی جنبشی نهایی را با k_f و انرژی افزایش یا کاهش یافته پس از برخورد را با Q نمایش دهیم داریم :

$$Q = k_f - k_i$$

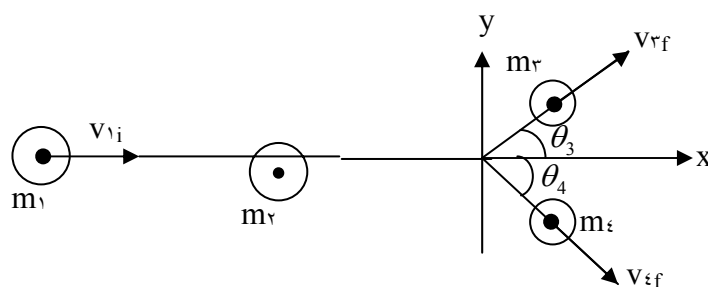
برخورد انرژی زا : $Q > 0$

برخورد انرژی گیر : $Q < 0$

برخورد کشسان : $Q = 0$

در تمام موارد قانون پایستگی تکانه خطی برقرار است .

برخورد ناکشسان بین ذره ای به جرم m_1 و سرعت v_1 با ذره ساکن به جرم m_2 را مطابق شکل در نظر می گیریم :



برخورد بین این دو ذره به دو ذره ی جدید به جرم های m_2 و m_1 منجر می شود که با سرعت های v_{1f} و v_{2f} تحت زاویه های θ_1 و θ_2 نسبت به جهت اولیه ی m_1 ، که محور x است ، حرکت می

کنند . انرژی های جنبشی ذرات m_1, m_2, m_3 و m_4 را به ترتیب k_1, k_2, k_3 و k_4 می گیریم .
از قوانین پایستگی تکانه خطی و انرژی داریم :

$$m_1 v_{1i} = m_3 v_{3f} \cos \theta_3 + m_4 v_{4f} \cos \theta_4$$

$$0 = m_3 v_{3f} \sin \theta_3 - m_4 v_{4f} \sin \theta_4$$

$$k_1 = k_3 + k_4 + Q$$

حل مسائل برخورد به روش تحلیلی :

برای سادگی در حل مسائل برخورد ، انتخاب دستگاه مختصات مناسب بسیار پراهمیت است . با نوشتن معادلات پایستگی تکانه خطی و انرژی می توان کمیت هایی را برحسب کمیت های دیگر به دست آورد . به طور مثال برای برخوردهای کش سان ثابت می شود که نسبت سرعت ذره پس از برخورد به سرعت آن قبل از برخورد برابر است با :

$$\frac{V_{1f}}{V_{1i}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \left[\cos \theta \pm \sqrt{\cos^2 \theta - \frac{m_1^2 - m_2^2}{m_1^2}} \right] \quad (1)$$

این معادله اطلاعات زیادی درباره ی برخوردهای کشسان به ما می دهد ، به طور مثال :

$$\theta = 0 \Rightarrow \frac{v_{1f}}{v_{1i}} = 1 \quad \text{یا} \quad \frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

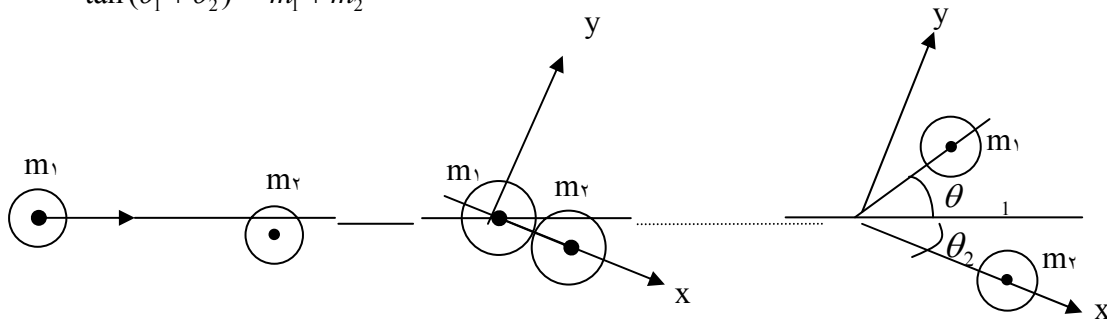
$$v_{2f} = 0 \quad \text{یا} \quad V_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 - m_2} v_{1i}$$

یا برای $m_1 = m_2$ می توان نتیجه گرفت که :

$$\cos(\phi + \theta) = 0 \rightarrow \phi + \theta = \frac{\pi}{2}$$

در این آزمایش می خواهیم که در برخورد کش سان با حذف سرعت ها رابطه ای میان جرم اجسام و زاویه ی انحراف آنها به دست آوریم . در ابتدا این کار را به صورت تحلیلی انجام داده و سپس با انجام آزمایش صحت رابطه ی به دست آمده را تحقیق می کنیم. با انتخاب محور مناسب خواهیم داشت :

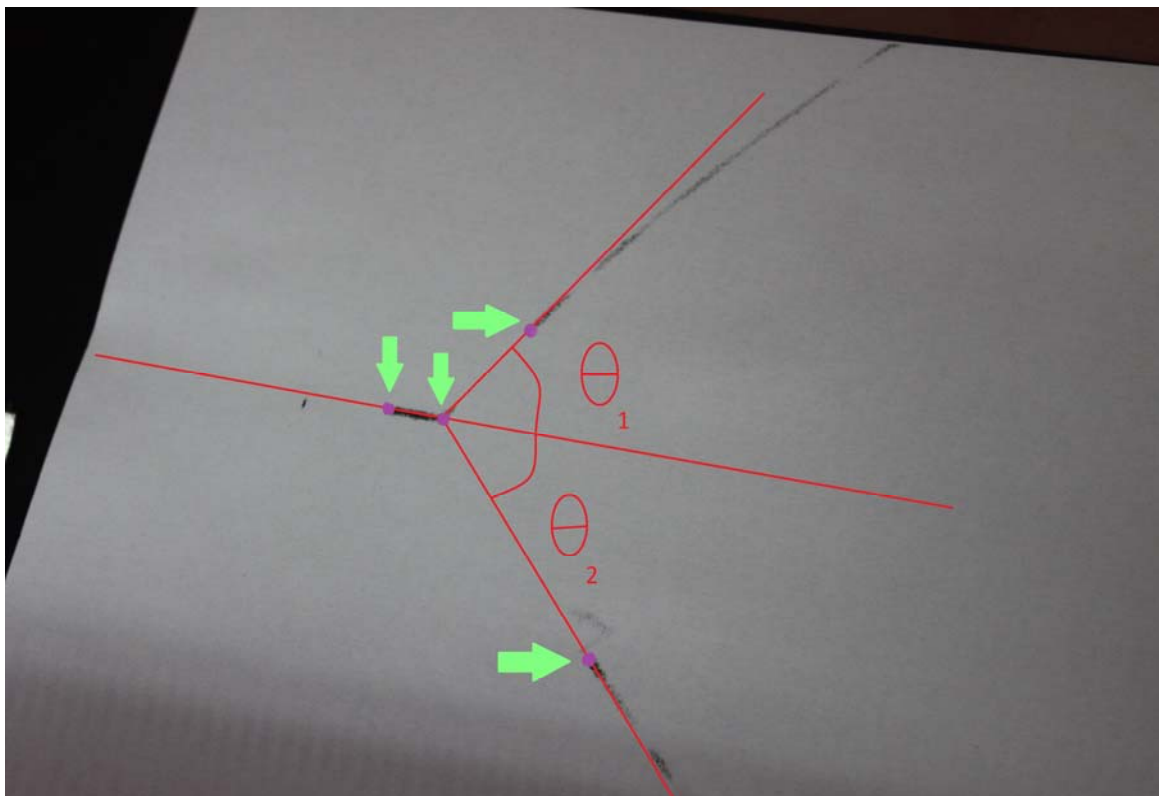
$$\frac{\tan \theta_2}{\tan (\theta_1 + \theta_2)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$



وسایل مورد نیاز: یک سطح شیبدار- کاربن- تعدادی کاغذ سفید - ۴ عدد گلوله - نقاله - خط کش .

روش آزمایش :

یکی از دو گلوله ی هم جرم را در پایین سطح شیبدار قرار می دهیم (گلوله شماره ۱) . سه گلوله ی دیگر (که جرمشان کمتر ، برابر و بیشتر از گلوله ی اول است) را از روی سطح شیبدار رها می کنیم (گلوله شماره ۲) ، به طوری که در هنگام برخورد با گلوله ی اول کمترین میزان درگیری را داشته باشند . در هنگام حرکت هر جفت گلوله روی کاغذ به علت وجود کاربن مسیر حرکت آنها روی کاغذ ثبت می شوند . این مسیرها را با استفاده از خط کش مطابق شکل ۱ به هم وصل کرده و با استفاده از نقاله زاویه های θ_1 و θ_2 را اندازه میگیریم . با استفاده از ترازو جرم ۲ گلوله را به دست آورده و در جدول ۱ یادداشت می کنیم . این روند را برای هر جفت گلوله ۱۰ بار انجام می دهیم .



شکل ۱ - نحوه ی مشخص کردن زوایای θ_1 و θ_2

$M_2(g)$	θ_1											
	θ_2											
$M_2(g)$	θ_1											
	θ_2											
$M_2(g)$	θ_1											
	θ_2											

$M_1(g)$ (گلوله متوسط):

جدول ۱

خواسته ها :

نمودار $\tan(\theta_1 + \theta_2)$ را برحسب $\tan \theta_2$ رسم کرده و شیب نمودار را به دست آورید . سپس از روی

شیب نمودار نسبت $\frac{m_2}{m_1}$ را محاسبه کرده و با نسبت واقعی آن مقایسه کنید . همچنین میزان خطا را

بدست آورید . (برای هر سه آزمایش این مراحل را تکرار کنید)

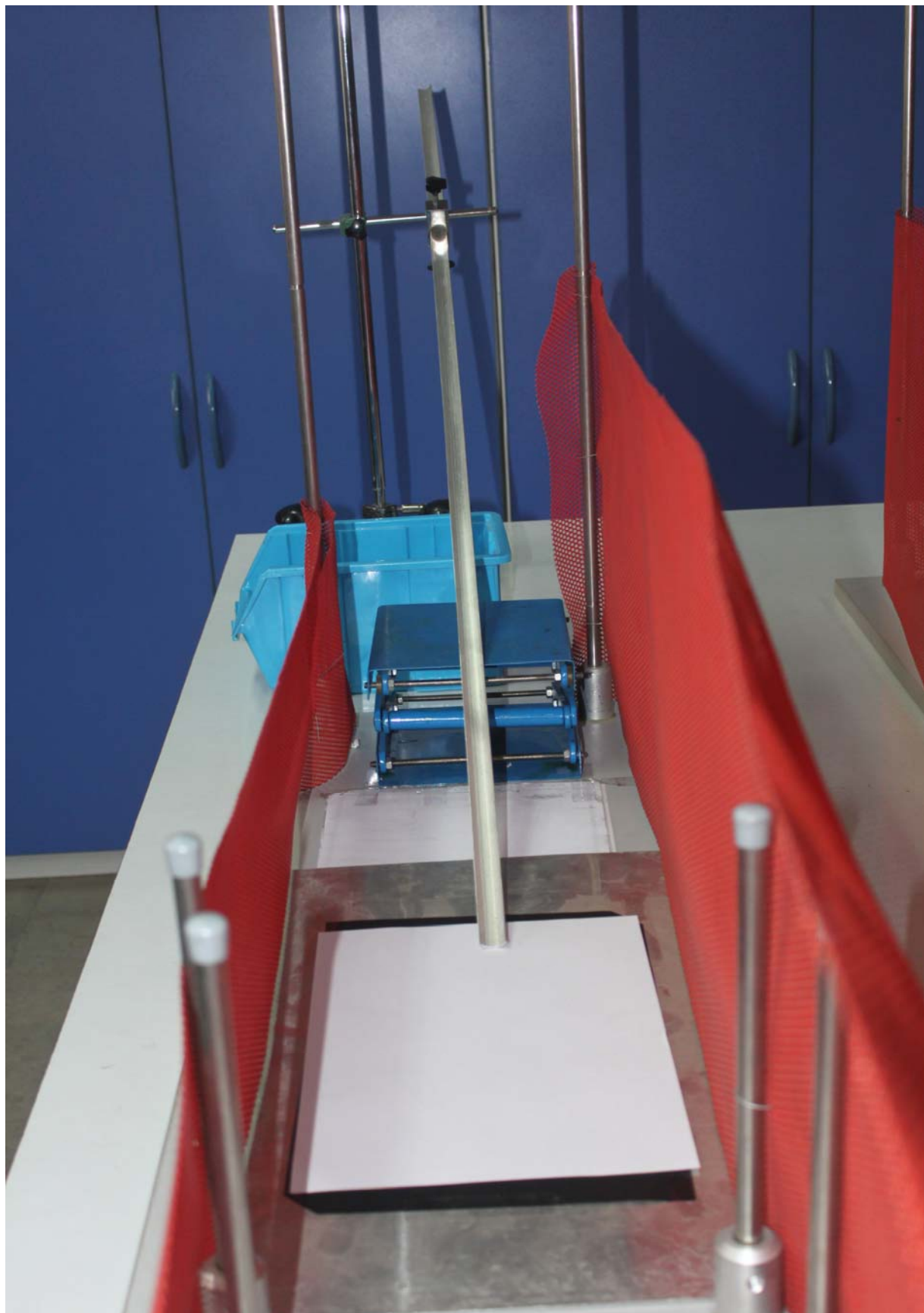
پرسش ها :

(۱) سعی کنید رابطه های (۱) و (۲) را اثبات کنید (بهتر است محور X را در راستای حرکت m_2 در نظر بگیرید) .

(۲) چرا باید در هنگام انجام آزمایش سعی شود که دو گلوله هنگام برخورد کمترین درگیری را داشته باشند ؟

(۳) چه دلایلی وجود دارند که ثابت می کند در این آزمایش پایداری انرژی جنبشی به طور کامل برقرار نیست ؟

(۴) چرا اثر عبور دو گلوله از کاربن روی کاغذ به صورت نقطه های پرنرنگ است و چرا به صورت خطی پیوسته نیست ؟



شکل ۲ - نمای کلی آزمایش