

آزمایش شماره ۸

برخورد (بقای تکانه)

قوانین بقای انرژی و تکانه از مهمترین قوانین فیزیک بشمار می‌روند. با استفاده از این قوانین می‌توان اطلاعات مفصلی درباره حالت نهایی یک سیستم در بسیاری از مسائل در حوزه مکانیک و دیگر شاخه‌های علوم بدست آورد. بنا بر قانون بقای تکانه، اگر نیرویی از خارج بر یک سیستم وارد نشود تکانه و انرژی آن تغییر نمی‌کند. هرچند قانون اندازه حرکت از اساسی‌ترین قوانین فیزیک بشمار می‌رود اما مشاهده آن در زندگی روزمره و تجربه‌های عادی کمی دشوار است. علت اصلی این پدیده در بسیاری از موارد وجود نیروی اصطکاک به عنوان یک نیروی خارجی می‌باشد. به همین منظور برای انجام آزمایش تا حد امکان باید نیروی اصطکاک حذف شود. با توجه به قانون بقای تکانه تنها می‌توان آن را از جسمی به جسم دیگر منتقل کرد. البته در بسیاری از موارد انتقال تکانه و تغییر سرعت ممکن است قابل لمس نباشد. برای مثال هنگامی که شروع به دویدن می‌کنید و یا اتومبیلی ترمز می‌کند، مقداری تکانه به زمین منتقل می‌شود. از آنجایی که جرم اجسام در مقایسه با جرم زمین قابل چشم‌پوشی است تغییر سرعت زمین در طی این فرایند ناچیز است. در برخورد دو یا چند جسم به یکدیگر ممکن است انرژی جنبشی سیستم قبل و بعد از برخورد تغییر نکند که به این نوع برخورد برخورد الاستیک یا کشسان می‌گویند. برخورد کشسان دوجسم برای اولین بار در سال ۱۶۶۸ به وسیله جان والیس و ورن مطالعه شد. حال در ادامه به بررسی برخورد کشسان و غیرکشسان دو جسم مورد بررسی می‌پردازیم.

نظریه

تکانه خطی یک سیستم شامل تعداد n ذره عبارت است از جمع برداری تکانه تک ذرات یعنی:

$$\vec{P} = \sum^n \vec{P}_i = \sum^n m_i \vec{v}_i$$

که \vec{P} تکانه کل سیستم، \vec{P}_i تکانه ذره i ام، m_i جرم ذره i ام و \vec{v}_i سرعت آن است. اگر فرض کنیم که F_i برآیند نیروهای خارجی وارد بر ذره i ام باشد و نیروی وارد شده از ذره j ام به ذره i ام نیز برابر F_{ij} باشد برای ذره i ام داریم:

$$\vec{F}_i + \sum^n \vec{F}_{ij} = m_i \vec{a}_i = \vec{P}_i$$

و برای کل سیستم خواهیم داشت:

$$\sum^n \vec{F}_i + \sum^n \sum^n \vec{F}_{ij} = \sum^n \vec{P}_i$$

بنا به قانون سوم نیوتن $F_{ij} = -F_{ji}$ و در نتیجه:

$$\sum^n \vec{F}_i = \sum^n \vec{P}_i = \vec{P}$$

اگر نیروی خارجی وجود نداشته باشد داریم:

$$\sum^n \vec{P}_i = \vec{P} = 0$$

و یا به عبارتی :

$$\vec{P} = \text{constant}$$

با توجه به مطالب بالا قانون بقای تکانه را در سیستم متشکل از تعدادی ذره می‌توان به قانون سوم نیوتون مربوط دانست. البته باید توجه داشت که اصل بقای تکانه خطی کلی‌تر از موارد فوق بوده و حتی در مواردی که نیروی بین ذرات از قانون کنش و واکنش پیروی نمی‌کند مانند نیروهای مغناطیسی بین ذرات باردار متحرک برقرار است. در برهم‌کنش بین ذرات ممکن است انرژی جنبشی سیستم قبل و بعد از برخورد ثابت باشد که به آن برخورد کشسان یا الاستیک گویند برای دو ذره ۱ و ۲ که به هم برخورد می‌کنند در حالت کلی داریم:

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

که در عبارت فوق i قبل از برخورد و f بعد از برخورد را نشان می‌دهد. مقادیر Q عبارتند از:

- $Q = 0$ برای برخورد کشسان
- $Q < 0$ برای برخورد غیرکشسان انرژی گیر (مواردی که اصطکاک وجود داشته باشد)
- $Q > 0$ برای برخوردهای انرژی‌زا

البته برای بررسی کشسان بودن برخورد معیاری به نام ضریب بازگشت تعریف می‌کنند که عبارت است از:

$$\varepsilon = \frac{|v_{2f} - v_{1f}|}{|v_{2i} - v_{1i}|}$$

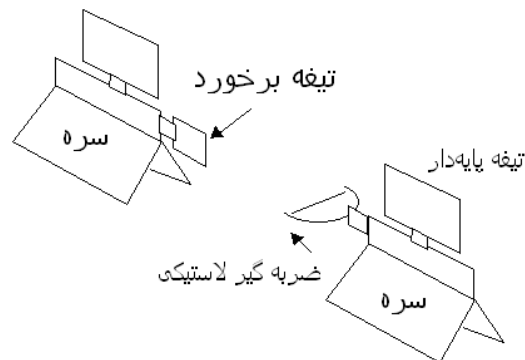
برای برخورد ناکشسان کامل مانند وقتی که دو گلوله خمیری به هم برخورد کرده، چسبیده و متوقف شوند صفر و برای برخورد کشسان برابر ۱ است. در آزمایش‌های برخورد کشسان مقدار ضریب بازگشت ممکن است به ۰/۹۵ هم برسد.

مراحل انجام آزمایش

ابزار مورد نیاز: ۱- ریل هوا با پایه ۲- آغازگر حرکت متصل به ریل هوا (تفنگ فتری) ۳- زمان‌سنج ۴- دو عدد سنسور نوری ۵- دو عدد سره ۶- دو عدد تیغه پایه‌دار 0.5 cm ۷- وزنه سوره‌دار ۵۰ گرم ۸- ضربه‌گیر آلومینیومی حاوی خمیر بازی ۹- سوزن برخورد قابل اتصال به سره ۱۰- تیغه برخورد ۱۱- ضربه‌گیر لاستیکی قابل اتصال به سره

الف) برخورد کشسان سره با دیواره صلب

یکی از تیغه‌های پایه‌دار را بر روی یکی از سره‌ها سوار کنید. ضربه‌گیر لاستیکی را نیز به یک طرف و تیغه برخورد را نیز به طرف دیگر سره و صل کنید. دقت کنید ضربه تفنگ فنی به طرفی که تیغه برخورد قرار دارد وارد می‌شود. (شکل ۱)



شکل ۱- وسایل مورد نیاز و نحوه اتصال آنها

سره را بر روی ریل قرارداده و هر دو سنسور را با پایه و میله طوری آماده کنید که تیغه متصل به سره از میان دو شاخه سنسور عبور کند. در این حالت یکی از سنسورها (سنسور اول) در فاصله ۳۰ سانتی‌متری تفنگ فنی و سنسور دیگر (سنسور دوم) در فاصله ۳۰ سانتی‌متری انتهای دیگر ریل قرار گیرد (فاصله سنسور اول تا انتهای ریل (محل برخورد سره) را اندازه بگیرید). سنسور را در حالت () قرار داده و آن را *Reset* کنید. (شکل ۲) در این حالت، \rightarrow و \leftarrow نور یکی باید به ورودی ۱ و دیگری به ورودی ۳ متصل شود. با رفت و برگشت سره از بین دو شاخه‌های هر سنسور، دو عدد در دستگاه ثبت می‌گردد که اعداد سمت چپ مربوط به سنسور ۱ و اعداد سمت راست مربوط به سنسور ۳ می‌باشد. عدد سمت چپ در دستگاه در هر سنسور مربوط به عبور اول سره از سنسور و عدد دوم مربوط به عبور دوم سره از سنسور می‌باشد.

با پیچاندن پیچ‌های پایه‌های ریل هوا آن را طوری تنظیم کنید که سره در هر نقطه دلخواه با وجود روشن بودن پمپ هوا به حالت ساکن روی ریل قرار گیرد.

سره را جلوی آغازگر حرکت (تفنگ فنی قرار دهید و تفنگ فنی را به طور کامل بکشید و سره را در تماس با آن قرار دهید. آغازگر حرکت بر سره ضربه می‌زند و سره حرکت می‌کند، توجه کنید برآیند نیروهای وارد بر سره پس از آغاز حرکت به طور کامل صفر نیست.



شکل ۲- شمای دستگاه زمان سنج

سره پس از عبور از دو سنسور از طرف ضربه گیر لاستیکی به انتهای ریل برخورد کرده و برمی گردد و دوباره از هر دو سنسور عبور می کند. پس از عبور از هر دو سنسور در مسیر برگشت سره را با دست متوقف کنید. مدت زمان های جابجایی تیغه (Δt) از سنسورها را در حالت رفت و برگشت یادداشت کنید، هر آزمایش را ۶ بار تکرار کنید. نتایج آزمایش را در جدول ۱ ثبت کنید.

ب) برخورد کشسان دو جسم با جرم های مساوی

فاصله دو سنسور را حدود سه برابر طول سره قرار دهید. تیغه برخورد را روی سره اول و ضربه گیر لاستیکی را روی سره دوم وصل کنید. سره دوم را طوری قبل از سنسور دوم قرار دهید که ابتدای سره (نه ابتدای تیغه روی سره) دقیقا در راستای ورودی سنسور دوم قرار گیرد. دقت کنید که سره دوم باید نسبت به ریل ساکن باشد. سره اول را جلوی آغازگر حرکت (تفنگ فنی) قرار دهید و تفنگ فنی را به طور کامل بکشید و سره را در تماس با آن قرار دهید. سره اول باید طوری روی ریل قرار گیرد که بعد از حرکت تیغه برخورد به ضربه گیر لاستیکی سره دوم برخورد کند. مانند آزمایش قبل زمان عبور سره ها از سنسورهای مربوطه را در جدول ۲ یادداشت کنید. جرم سره ها و اتصالات روی آنها را یادداشت نمایید. و آزمایش فوق را ۶ بار تکرار کنید.

ج) برخورد کشسان جسم با جرم کمتر با جسم ساکن با جرم بیشتر

روی سره دوم دو وزنه ۵۰ گرمی (در مجموع ۱۰۰ گرم) قرار داده و آزمایش قبل را تکرار کنید. در این حالت سره دوم از سنسور دوم عبور کرده و سره اول بعد از برخورد با سره دوم از سنسور اول نیز می گذرد. زمان عبور سره دوم از سنسور دوم و زمان های رفت و برگشت سره اول از سنسور اول را در جدول ۳ وارد نمایید.

د) برخورد کشسان جسم با جرم بیشتر با جسم ساکن با جرم کمتر

روی سره اول شش وزنه ۵۰ گرمی (در مجموع ۳۰۰ گرم) قرار داده و آزمایش قبل را تکرار کنید. در این حالت سره دوم از سنسور دوم عبور کرده و سره اول هم بعد از برخورد با سره دوم به حرکت خود ادامه داده و از سنسور نیز می‌گذرد. زمان عبور سره دوم از سنسور دوم و زمان‌های عبور سره اول از سنسور اول و دوم را در جدول ۴ وارد نمایید.

ه) برخورد غیرکشسان دو جسم

فاصله دو سنسور را حدود سه برابر طول سره قرار دهید. در سره اول به جای تیغه برخورد، سوزن برخورد را نصب کرده و در سره دوم نیز به جای ضربه‌گیر لاستیکی از ضربه‌گیر آلومینیومی حاوی خمیر بازی استفاده کنید. سره دوم را درست قبل از سنسور دوم قرار دهید. دقت کنید که سره دوم باید نسبت به ریل ساکن باشد. سره اول را در جلوی آغازگر حرکت (تفنگ فنری) قرار دهید و تفنگ فنری را بطور کامل بکشید و سره را در تماس با آن قرار دهید. سره‌ها باید طوری روی ریل قرار گیرند که بعد از برخورد سوزن به ضربه‌گیر آلومینیومی حاوی خمیر بازی اصابت کرده، در آن فرو رود. در این حالت دو سره به یکدیگر متصل شده و سرعت نهایی برابر خواهند داشت. زمان عبور سره‌ها از سنسورهای مربوطه را در جدول ۵ یادداشت کنید. جرم سره‌ها و اتصالات روی آنها را یادداشت نمایید و آزمایش فوق را ۶ بار تکرار کنید.

خواسته‌ها

۱. قانون بقای اندازه حرکت را در هر یک از موارد تحقیق کنید. ابتدا سرعت‌ها را محاسبه کرده و در نهایت

$$\text{مقدار } \Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \text{ را محاسبه کنید. دلایل اختلاف را بیان کنید.}$$

۲. مقدار ضریب بازگشت، $\epsilon = \frac{|v_{2f} - v_{1f}|}{v_{1f}}$ را برای هر یک از موارد محاسبه کنید.

۳. بقای انرژی را در تمام حالت‌ها بررسی کنید. علت اختلاف را بیان کنید.

جدول‌های آزمایش ۸ برخورد (بقای تکانه)

جدول ۱

ردیف	زمان عبور از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور از سنسور دوم قبل از برخورد	زمان عبور از سنسور اول بعد از برخورد	زمان عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				

فاصله سنسور اول تا انتهای ریل:

مجموع جرم سره و اتصالات روی آن:

جدول ۲

ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول (قبل از برخورد)	زمان عبور سره دوم سنسور دوم (بعد از برخورد)
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		

مجموع جرم سره دوم و اتصالات روی آن:

مجموع جرم سره اول و اتصالات روی آن:

جدول ۳

ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	زمان عبور سره اول از سنسور اول بعد از برخورد
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			

مجموع جرم سره دوم و اتصالات روی آن:

مجموع جرم سره اول و اتصالات روی آن:

جدول ۴

ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	زمان عبور سره اول از سنسور دوم بعد از برخورد
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			

مجموع جرم سره اول و اتصالات روی آن:

مجموع جرم سره دوم و اتصالات روی آن:

جدول ۵

ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول (قبل از برخورد)	زمان عبور سره دوم از سنسور دوم (بعد از برخورد)
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		