

آزمایش 10: آونگ بالستیک

تئوری آزمایش:

برخورد میان اجسام موجود در یک سیستم، کل تکانه سیستم را تغییر نمیدهد، لذا اگر برآیند نیروهای خارجی وارد بر سیستم صفر باشد تکانه کل سیستم ثابت میماند. این واقعیت را تحت عنوان پایستگی تکانه خطی بیان میکنند.

حاصلضرب جرم در سرعت یک جسم را تکانه خطی یا اندازه حرکت خطی آن جسم می نامند. برای هر سیستم منزوی همواره میتوان معادله تکانه را به کار برد به طوری که میتوان گفت تکانه قبل از برخورد با تکانه پس از برخورد مساوی است.

لذا در برخوردهای کشسان و ناکشسان، پایستگی تکانه خطی همواره برقرار است. برخورد کشسان برخوردی است که در آن علاوه بر پایستگی تکانه خطی، پایستگی انرژی جنبشی نیز برقرار است.

بنابراین برای یک سیستم متشکل از دو گلوله با جرمهای m_1 و m_2 که سرعت آنها قبل از برخورد v_{1i} و v_{2i} و بعد از برخورد به ترتیب v_{1f} و v_{2f} میباشد میتوان نوشت:

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \quad (1)$$

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

با ترکیب دو معادله 1 و 2 معادله های زیر بدست می آید:

$$m_1(v_{1i} - v_{1f}) = m_2(v_{2f} - v_{2i}) \quad (3)$$

$$m_1(v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = m_2(v_{2f}^2 - v_{2i}^2) \quad (4)$$

معادله 4 را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$m_1(v_{1i} - v_{1f})(v_{1i} + v_{1f}) = m_2(v_{2f} - v_{2i})(v_{2f} + v_{2i}) \quad (5)$$

از تقسیم معادله 5 بر معادله 3، داریم:

$$(v_{1i} + v_{1f}) = -(v_{2f} + v_{2i}) \quad (6)$$

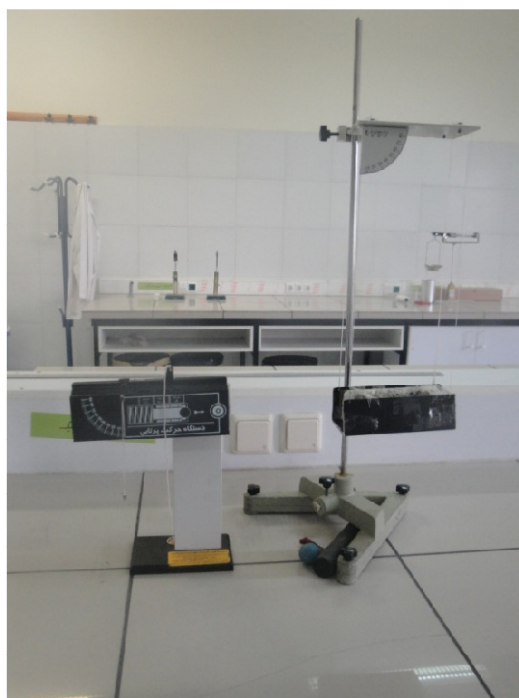
بنابراین میتوان گفت در برخورد کشسان سرعت نسبی نزدیک شدن با منفی سرعت نسبی دور شدن آنها برابر است.

در برخورد ناکشسان، پایستگی انرژی جنبشی برقرار نیست، و این اختلاف انرژی ممکن است به صورت های دیگر انرژی مانند گرما، انرژی پتانسیل و ... تبدیل شود.

از آونگ بالستیک می توان برای اندازه گیری سرعت گلوله ها و در فعالیت های نظامی برای محاسبه سرعت موشک ها و ... استفاده کرد.

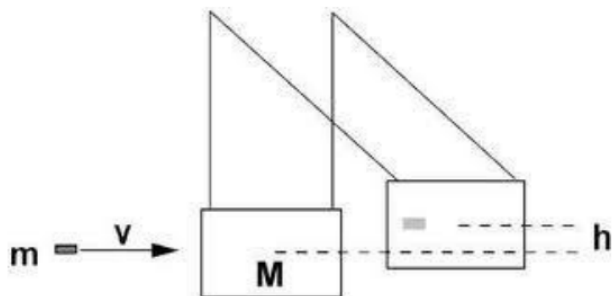
جرم گلوله را با m و سرعت آن در لحظه برخورد را با v_i نشان می دهند. سرعت سیستم متشکل از $(m+M)$ را پس از برخورد با v_f نشان می دهند. بزرگی v_f از رابطه زیر بدست می آید:

$$mv_i + 0 = (m + M) v_f \quad v_f = \frac{m}{m + M} v_i \quad (7)$$



شکل 1- نمای کلی آزمایش آونگ بالستیک

پس از برخورد گلوله با آونگ بیشینه ارتفاع را پیدا میکنند، در این بیشینه ارتفاع انرژی سیستم به انرژی پتانسیل تبدیل شده است. ارتفاع فعلی آونگ نسبت به ارتفاع قبلی آن را h می نامیم. توجه داشته باشید که در این فرآیند انرژی جنبشی پایسته نیست ولی انرژی مکانیکی سیستم پایسته است. با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی رابطه زیر را میتوان نوشت:



شکل 2- تغییر ارتفاع آونگ بعد از شلیک گلوله

$$\frac{1}{2} (m + M) v_f^2 = (m + M) gh \quad (8)$$

با قرار دادن مقدار v_f از رابطه (7) داریم:

$$\frac{1}{2} (m + M) \left(\frac{m}{m + M} \right)^2 v_i^2 = (m + M) gh \quad (9)$$

لذا میتوان سرعت گلوله به هنگام شلیک را بدست آورد:

$$v_i = \frac{m + M}{m} \sqrt{2gh} \quad (10)$$

از طرفی داریم:

$$h = L - L \cos \theta \quad h = L(1 - \cos \theta) \quad (11)$$

θ زاویه آونگ در بیشینه ارتفاع و L طول آونگ است.

$$v_i = \frac{m + M}{m} \sqrt{2gL(1 - \cos \theta)} \quad \text{در نتیجه :} \quad (12)$$

حال اگر نسبت انرژی جنبشی قبل و بعد از برخورد را محاسبه کنیم داریم:

$$\frac{E_f}{E_i} = \frac{m + M}{m} \quad (13)$$

رابطه (13) نشان میدهد که فقط مقدار بسیار کمی از انرژی جنبشی اولیه باقی میماند و مقدار زیادی از آن به صورت های دیگری از انرژی مانند انرژی گرمایی تبدیل میشود.

درصد انرژی تلف شده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\begin{aligned} \text{درصد انرژی تلف شده} &= \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100 = \frac{\frac{1}{2}mv_i^2 - \frac{1}{2}(m+M)v_f^2}{\frac{1}{2}mv_i^2} \times 100 \\ &= \frac{mv_i^2 - (m+M)v_f^2}{mv_i^2} \times 100 \end{aligned} \quad (14)$$

روش انجام آزمایش:

ابتدا جرم گلوله ای را که در اختیار دارید به کمک ترازو تعیین کنید. جرم جعبه آونگ را هم $M=117gr$ در نظر بگیرید. دستگاه شلیک گلوله می تواند با سه سرعت مختلف (کند، تند و متوسط) گلوله را شلیک کند.

گلوله را به کمک سمبه در داخل دستگاه شلیک گلوله قرار دهید که این دستگاه بتواند گلوله را شلیک کند. به کمک ضامن موجود، دستگاه شلیک را آماده شلیک نمایید. در تمام مراحل آزمایش لازم است فاصله دستگاه شلیک گلوله از آونگ ثابت باشد بنابراین برای راحتی میتوانید این دستگاه را در حداقل فاصله از آونگ طوری قرار دهید که با آن تماس نداشته باشد. دستگاه را برای شلیک گلوله با سرعت کم آماده کنید. با کشیدن ضامن، گلوله شلیک شده و در داخل جعبه آونگ فرو میرود و هر دو با هم حرکت میکنند. شش بار گلوله را با همین سرعت به داخل جعبه آونگ شلیک کنید و در هر بار زاویه θ را توسط نخ که آونگ به وسیله آن آویزان شده از روی زاویه سنج موجود در قسمت بالای دستگاه بخوانید و سپس $\bar{\theta}$ را بدست آورید. (برای خواندن زاویه، باید حداکثر انحراف زاویه نخ را از روی زاویه سنج بخوانید) طول L آونگ را نیز با یک خط کش از نقطه آویز تا وسط جعبه آونگ اندازه بگیرید.

با معلوم بودن $\bar{\theta}$ و L میتوانید \bar{h} (یعنی تغییر ارتفاع میانگین مرکز جرم آونگ از وضعیت تعادلش) را محاسبه کنید. بنابراین \bar{v}_i از رابطه (12) و \bar{v}_f نیز از رابطه (7) به دست می آید. \bar{v}_i و \bar{v}_f و $\bar{\theta}$ را برای هریک از سرعت های کند، متوسط و تند تعیین کنید و در نهایت در صد انرژی تلف شده را برای هر حالت با استفاده از رابطه (14) بدست آورید.

خطای نسبی در محاسبه \bar{v}_i و \bar{v}_f را به دست آورید.

این آزمایش را برای هر سه سرعت کم، متوسط و زیاد انجام دهید.