

انرژی جنبشی و تکانه ی خطی

هدف آزمایش

(۱) بررسی پایستگی تکانه ی خطی و انرژی جنبشی در برخورد الاستیک

(۲) بررسی پایستگی تکانه ی خطی در برخورد غیر الاستیک کامل

(۳) بررسی پایستگی تکانه ی خطی در انفجار سیستم دو ذره ای

وسایل مورد نیاز

دستگاه بالشکت هوا ، پمپ باد ، سرعت سنج ، خمیر ، فیر ، ارابه های مخصوص همراه وزنه ، شاقول ، نقاله ، زمان سنج ، نخ

تئوری آزمایش

(۱) پایستگی تکانه ی خطی در برخورد

بسیاری از اطلاعات فیزیکی از پدیده هایی که در اطراف ما رخ می دهند ناشی از مطالعه ی برخوردهاست . در حین برخورد ، ذرات به یکدیگر، نیروی قابل ملاحظه ای در مدت زمان کوتاهی وارد می کنند . تغییرات این نیرو نسبت به زمان بسیار سریع است . نیرو از مقدار کمینه ی خود به سرعت افزایش می یابد تا به مقدار بیشینه ی خود برسد و سپس به سرعت افت کرده و حذف می شود .

این نیرو که بر طبق قانون سوم نیوتن به هر دو ذره مساوی و در خلاف جهت یکدیگر وارد می شود ، نیروی برخورد یا ضربه نام دارد . به بیان ریاضی داریم

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (1)$$

ضربه ی وارد بر هر ذره برابر با تغییر تکانه ی آن $\Delta \vec{p}$ است . یعنی :

$$\Delta \vec{p} = \int \vec{F} dt \quad (2)$$

به خاطر کوتاه بودن زمان برخورد این نیرو شناخته شده نیست ، اما می توان با توجه به نحوه ی تغییرات تکانه ی کل ، از سرعت نهایی ذرات آگاهی پیدا کرد . تغییر تکانه ی کل دو جسم برابر با مجموع تغییر تکانه ی تک ذرات است . به بیان ریاضی :

$$\Delta \vec{p} = \Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2 \quad (3)$$

با جایگذاری رابطه ی ۲ در رابطه ی بالا داریم :

$$\Delta \vec{p} = \int \vec{F}_{12} dt + \int \vec{F}_{21} dt \quad (4)$$

با توجه به رابطه ی ۱ خواهیم داشت:

$$\Delta \vec{p} = 0 \quad (5)$$

این رابطه بیانگر آن است که مجموع تکانه ی دو ذره قبل و بعد از برخورد با وجود تغییر هر کدام در اثر نیروی ضربه ای ، ثابت می ماند و می توان نوشت :

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \quad (6)$$

که در آن $\vec{p}_{1i}$ و $\vec{p}_{2i}$ تکانه ی ذرات قبل از برخورد و $\vec{p}_{1f}$ و $\vec{p}_{2f}$ تکانه ی آنها بعد از برخورد است . از آنجا که تکان ی هر ذره برابر است با :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (7)$$

رابطه ی ۶ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} \quad (8)$$

در حالت یک بعدی که راستای حرکت ذرات قبل و بعد از برخورد تغییر نمیکند قانون پایستگی تکانه را می توان به صورت زیر نوشت :

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \quad (9)$$

به عبارت دیگر در عمل برخورد از آنجا که با نیروهای داخلی سروکار داریم مجموع تکانه ی دو جسم پایسته میماند .

۲) پایستگی انرژی جنبشی در برخورد الاستیک

نوعی از انرژی اجسام متحرک که فقط به دلیل سرعتشان وجود دارد انرژی جنبشی نامیده می شود و برابر است با :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (10)$$

از نظر پایداری انرژی جنبشی ، برخورد به گونه های متفاوت تقسیم می شود . اگر مجموع انرژی جنبشی در جسم ، قبل و بعد از برخورد یکسان باشد برخورد را الاستیک و در غیر این صورت برخورد را غیر الاستیک می گویند . در برخورد غیر الاستیک انرژی می تواند به صورتهای دیگر آن مانند انرژی گرمایی ، انرژی ارتعاشی و غیره تبدیل شود . به طور کلی کار کلیه ی نیروهای وارد بر جسم اعم از داخلی و خارجی سبب تغییر در انرژی جنبشی جسم می شود . در برخورد الاستیک ، انرژی جنبشی قبل و بعد از برخورد پایسته می ماند و داریم:

$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2 \quad (11)$$

در حالت یک بعدی میتوان با حل دستگاه معادلات ۹ و ۱۱ سرعت ذرات را پس از برخورد به دست آورد .

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} \quad (12)$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i} \quad (13)$$

در برخورد غیر الاستیک قسمتی از انرژی به صورت گرما و یا برای تغییر شکل اجسام تلف می شود . اگر در عمل برخورد ، دو جسم به هم متصل شده و سرعت واحدی پیدا کنند ، در آن صورت برخورد را غیر الاستیک کامل می نامند . در این حالت از پایداری تکانه ی خطی می توان سرعت نهایی ذرات را تعیین کرد .

$$m_1v_{1i} + m_2v_{2i} = (m_1 + m_2)v_f \quad (14)$$

که در آن v_f سرعت نهایی اجسام بعد از برخورد است و برابر است با:

$$v_f = \frac{m_1v_{1i} + m_2v_{2i}}{m_1 + m_2} \quad (15)$$

وسایل آزمایش

(۱) ریل هوا و قطعات وابسته

برای اجتناب از وارد آمدن نیروی اصطکاک ، آزمایش بر روی ریل هوا صورت می گیرد . ریل هوا لوله ای است آلومینیومی با سطح مقطع مربع شکل به طول ۲ متر که بر روی سطح فوقانی آن چهار ردیف سوراخ های ریز تعبیه شده است . هوای دمیده شده توسط یک پمپ هوا از ابتدای ریل وارد شده و از سوراخ های آن خارج می گردد . در نتیجه لغزنده ای که بر روی آن قرار می گیرد می تواند با اصطکاک ناچیزی حرکت نماید . ریل و قطعات همراه آن در شکل ۱ نشان داده شده اند . قطعات فوق عبارتند از :

(۱) ریل هوا

- (۲) لغزنده که جرم آن ۱۵۰ گرم است و با اضافه کردن وزنه های مختلف بر روی آن می توان جرم آن را افزایش داد .
 - (۳) پرده به طول ۱۰۰ میلیمتر که بر روی لغزنده نصب می شود و برای قطع و وصل جریان فتوسل به کار می رود
 - (۴) پرده به طول ۲۵ میلیمتر
 - (۵) لوله ی اتصال که محتوی پارافین است و برای اتصال دو لغزنده به کار می رود.
 - (۶) سوزن اتصال که با فرو رفتن در داخل لوله ی اتصال دو لغزنده را به یکدیگر وصل می کند .
 - (۷) قلاب که برای وارد کردن نیرو از طریق نخ از آن استفاده می شود .
 - (۸) صفحه که به همراه گیره کش در برخورد الاستیک به کار می رود .
 - (۹) دو شاخه که برای اتصال لغزنده به هسته ی مغناطیسی در شروع کار به لغزنده متصل می شود .
 - (۱۰) گیره کش که برای دادن سرعت اولیه به جسم و نیز در برخورد الاستیک به کار می رود .
 - (۱۱) کش که بر روی گیره نصب می گردد .
 - (۱۲) سیم پیچ که با اتصال آن به ولتاژ ۶ ولت ، آهنربا شده و لغزنده را توسط دو شاخه ی آن نگاه می دارد.
- قطعات ۳ تا ۹ قابل اتصال به لغزنده بوده و جرم تمامی آنها به همراه کش و گیره ۱۰ گرم است .



شکل ۱

(۲) شمارنده ی الکترونیکی و فتوسل

برای اندازه گیری زمان حرکت یک و یا دو شمارنده ی الکترونیکی به کار برده می شود . شمارنده که در شکل ۲ نشان داده شده است می تواند زمان را با دقت 10^{-5} s اندازه گیری نماید . به وسیله کلید Start / Stop می توان شمارنده را به وسیله ی دست به کار انداخت و یا متوقف نمود . به وسیله کلید reset شمارنده صفر می شود . با قطع نور فتوسل توسط پرده ، شمارنده به کار می افتد و در نتیجه ی گذشتن پرده و ارتباط نوری

مجدد ، فتوسل شمارنده از کار باز می ایستد . برای کار با شمارنده ابتدا باید آن را به برق شهر متصل نمود و کلید آن را روشن کرد.



شکل ۲

روش آزمایش

وسایل آزمایش را مطابق شکل ۱ ببندید . قبل از انجام آزمایش باید ریل را به خوبی تمیز و در امتداد افقی تنظیم نمود . برای تمیز کردن ریل ، پمپ هوا را روشن کرده و آنرا بر روی بیشترین سرعت کار قرار می دهیم . سپس به وسیله ی برس سطح فوقانی آن را تمیز می کنیم . برای افقی کردن ریل دو پیچ را که در زیر آن قرار دارد به کار می بریم . ریل وقتی افقی است که اگر هنگام کار کردن پمپ ، اگر لغزنده را در محل های مختلف ریل قرار دهیم در هیچ جهتی حرکت نکند . از آنجا که وزش باد بر سوراخها نیز نیرویی بر لغزنده وارد می کند هنگام تنظیم افقی لغزنده را باید به نحوی قرار داد که ابتدا و انتهای آن بر روی یک جفت سوراخ قرار گیرد .

(۱) برخورد الاستیک

الف) $m_1 \ll m_2$

در این آزمایش در انتهای ریل گیره کش را نصب کنید . یکی از پرده ها و نیز صفحه ی برخورد را بر روی لغزنده نصب نمایید و با قطع جریان سیم پیچ ، لغزنده را آزاد کنید . زمان عبور پرده را از مقابل فتوسل بر روی شمارنده بخوانید . همین عمل را در بازگشت لغزنده پس از برخورد به انتهای ریل تکرار نمایید (صفر کننده ی خودکار شمارنده و نیز محل فتوسل را طوری تنظیم کنید که ضمن داشتن مهلت کافی برای خواندن مقدار اول ، در هنگام بازگشت لغزنده ، شمارنده صفر شده باشد) . این آزمایش را سه بار انجام داده و میانگین زمان های به دست آمده را برای تعیین سرعتهای اولیه و نهایی به کار ببرید و در جدول ۱ گزارش کار یادداشت نمایید .

جدول ۱

آزمایش	زمان رفت	زمان برگشت	متوسط زمان رفت	متوسط زمان برگشت	m_1	m_2	v_{1l}	v_{2l}	v_{1f}	v_{2f}
--------	----------	------------	----------------	------------------	-------	-------	----------	----------	----------	----------

										$m_1 \ll m_2$

جدول ۱

ب) $m_1 = m_2$

دو لغزنده را به فنرهای مخصوص مجهز کنید و بر روی ریل هوا قرار دهید. لغزنده ی اول را در ابتدای ریل و لغزنده ی دوم را بدون سرعت اولیه بین دو فتوسل قرار دهید. سرعت اولیه و نهایی دو لغزنده را قبل و بعد از برخورد اندازه بگیرید و در جدول ۲ گزارش کار یادداشت نمایید

v_{2f}	v_{1f}	v_{2i}	v_{1i}	m_2	m_1	متوسط زمان برگشت	متوسط زمان رفت	زمان برگشت	زمان رفت	آزمایش
										$m_1 = m_2$

جدول ۲

ج) $m_1 > m_2$

جرم لغزنده اول را ۲۰۰ گرم افزایش دهید و آزمایش قبل را تکرار کنید. سرعتهای اولیه و نهایی دو لغزنده را قبل و بعد از برخورد اندازه بگیرید و در جدول ۳ گزارش کار یادداشت نمایید.

v_{2f}	v_{1f}	v_{2i}	v_{1i}	m_2	m_1	متوسط زمان برگشت	متوسط زمان رفت	زمان برگشت	زمان رفت	آزمایش
										$m_1 > m_2$

جدول ۳

$$m_1 < m_2 \text{ (د)}$$

این بار جرم لغزنده ای را که بین دو فتوسل به طور ساکن قرار می دهید ۲۰۰ گرم افزایش دهید و آزمایش قبل را تکرار کنید . سرعت‌های اولیه و نهایی دو لغزنده را قبل و بعد از برخورد اندازه بگیرید و در جدول ۴ گزارش کار یادداشت نمایید .

v_{2f}	v_{1f}	v_{2i}	v_{1i}	m_2	m_1	متوسط زمان برگشت	متوسط زمان رفت	زمان برگشت	زمان رفت	آزمایش
										$m_1 < m_2$

جدول ۴

(۲) برخورد غیر الاستیک کامل

یک لغزنده را به سوزن و لغزنده ی دیگر را به خمیر مجهز نمایید . در این صورت در لحظه ی برخورد ، سوزن در داخل خمیر فرو رفته و یک برخورد غیر الاستیک به وقوع می پیوندد . آزمایش را برای دو حالت زیر انجام دهید . سرعت های اولیه و نهایی اجسام را در جدول ۵ یادداشت نمایید .

الف) $m_1 = m_2$ و لغزنده ۲ ساکن است.

ب) $m_2 \neq m_1$ و هر دو لغزنده حرکت می کنند.

v_{2f}	v_{1f}	v_{2i}	v_{1i}	m_2	m_1	متوسط زمان برگشت	متوسط زمان رفت	زمان برگشت	زمان رفت	آزمایش
										$m_1 = m_2$
										$m_1 \neq m_2$

جدول ۵

(۳) انفجار سیستم

دو لغزنده ی مجهز به فنر را در مرکز ریل قرار داده و دو فنر را به کمک لغزنده ها فشرده و به وسیله ی نخ وضعیت فشرده گی را ثابت نگه داشته و سپس با روشن نمودن پمپ باد و دستگاه ثبات ، با سوزاندن نخ ، لغزنده ها را به حرکت در آورید . در این حالت انرژی پتانسیل ذخیره شده در فنرها به انرژی جنبشی لغزنده ها تبدیل می گردد . در این حالت اصطلاحاً گفته می شود که انفجار رخ داده است . چون نیروی خارجی به سیستم وارد نشده تکانه خطی بقا دارد . آزمایش را برای دو حالت $m_1 \neq m_2$ و $m_1 = m_2$ انجام دهید . سرعت لغزنده ها را پس از انفجار اندازه بگیرید و در جدول ۶ گزارش کار یادداشت نمایید .

آزمایش	زمان رفت	زمان برگشت	متوسط زمان رفت	متوسط زمان برگشت	m_1	m_2	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}
$m_1 = m_2$										
$m_1 \neq m_2$										

جدول ۶

محاسبات بررسی نتایج پرسشها

- (۱) در آزمایش (۱- الف) اجسام برخورد کننده کدامند ؟
- (۲) نتیجه ی این آزمایش چیست ؟
- (۳) در این آزمایش سرعت نهایی را از روابط تئوری محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده در آزمایش مقایسه نمایید.
- (۴) چگونگی پایستگی تکانه ی خطی را در آزمایش فوق توضیح دهید .
- (۵) سرعت های نهایی را در آزمایش (۱- ب) با مقدار پیش بینی شده از روابط تئوری مقایسه کرده و نتیجه گیری نمایید .
- (۶) سرعت های نهایی را در آزمایش (۱- ج) با مقدار پیش بینی شده از روابط تئوری مقایسه کرده و نتیجه گیری نمایید.
- (۷) در آزمایش (۱- ج) قوانین پایستگی تکانه و انرژی جنبشی را تحقیق کنید .
- (۸) سرعت های نهایی را در آزمایش (۱) با مقدار پیش بینی شده از روابط تئوری مقایسه کرده و نتیجه گیری نماید .
- (۹) در آزمایش (۱- د) قوانین پایستگی تکانه و انرژی جنبشی را تحقیق کنید .
- (۱۰) در آزمایشهای (۱- الف) تا (۱- د) در صد انرژی انتقال یافته به جسم ساکن را از روی مقادیر به دست آمده در آزمایش محاسبه نمایید .
- (۱۱) در صد انرژی انتقال یافته به جسم دوم را بر حسب جرم دو جسم از روی روابط تئوری محاسبه کنید و توضیح دهید که چه مواقعی این انتقال بیشترین مقدار را دارد ؟
- (۱۲) نتیجه سئوالات ۱۰ و ۱۱ را با یکدیگر مقایسه کنید .
- (۱۳) در آزمایش (۲) قانون پایستگی تکانه را تحقیق کنید .
- (۱۴) در آزمایش فوق کاهش انرژی جنبشی را در هر حالت محاسبه کنید .
- (۱۵) توضیح دهید که انرژی چگونه تلف شده است .

(۱۶) در آزمایش (۳) سرعت‌های نهایی را از روابط تئوری محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده در آزمایش مقایسه نمایید .

(۱۷) از آزمایش (۳) چه نتیجه ای می گیرید ؟

فهرست منابع آزمایشهای فیزیک

(۱) علیرضا کشاورز آوند اندیشه شیران ۱۳۸۵

(۲) آزمایشهای فیزیک ۳ علیرضا کشاورز و زهرا سلطانی آوند اندیشه ، شیران ۱۳۸۶

(۳) فیزیک ، دیوید هالیدی و رابرت ، رزیک برل واکر نیاز دانش ۱۳۹۳.