

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱

گزارش کار آزمایش شماره ۱۱

« بقاء اندازه حرکت خطی »

گروه ۲

محمد رضا مهدیه

تاریخ آزمایش : ۱۳۹۰/۹/۶

تاریخ تحویل گزارش کار: ۱۳۹۰/۹/۲۷

استاد: آقای (روزبه ترکی)

تئوری آزمایش:

قانون بقای اندازه حرکت خطی بیان می‌کند که اگر نیرو یا برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، اندازه حرکت خطی آن مقداری ثابت خواهد بود.

اطلاعات اولیه

اندازه حرکت خطی یا تکانه خطی یک ذره به وسیله بردار $\vec{P}$ نشان می‌شود که مقدار آن با حاصل ضرب جرم ذره (m)، در سرعت آن (V) برابر است. چون سرعت ذره یک کمیت برداری بوده و جرم آن یک کمیت اسکالر است، لذا اندازه حرکت خطی یک کمیت برداری خواهد بود. آهنگ تغییرات اندازه حرکت خطی با نیروی وارد بر ذره برابر است. بنابراین اگر بر جسمی هیچ نیرویی وارد نشود و یا نیروهای وارد بر ذره به گونه‌ای باشند که برآیند آنها صفر باشد، در این صورت آهنگ تغییرات اندازه حرکت خطی نسبت به زمان صفر خواهد بود، لذا اندازه حرکت خطی مقداری ثابت خواهد بود. در این حالت اصطلاحاً گفته می‌شود که اندازه حرکت خطی بقا دارد، یا پایسته است.

اهمیت قوانین بقا

اهمیت نظری و علمی پایستگی یا قوانین بقا در فیزیک بسیار زیاد است، چون این اصول همگانی و ساده هستند. این اصول را می‌توان به این صورت خلاصه کرد که: هنگام تغییر هر دستگاه، یکی از جنبه‌های آن بدون تغییر می‌ماند. اگر ناظرهای مختلفی که هر کدام در چارچوب مرجع خود قرار دارند، یک دستگاه در حال حرکت را مشاهده کنند، همه اتفاق نظر خواهند داشت که قوانین بقا در مورد آنها صادق است. به عنوان مثال، در مورد پایستگی تکانه خطی، ناظرهای واقع در چارچوبهای مختلف، مقادیر متفاوتی به تکانه خطی نسبت می‌دهند، اما همه آنها با این فرض که برآیند نیروهای وارد بر دستگاه صفر است، قبول دارند که هنگام حرکت ذرات تشکیل دهنده دستگاه، مقدار تکانه خطی اندازه گیری شده در دستگاه خودشان بدون تغییر باقی می‌ماند.

مفهوم بقای اندازه خطی

وقتی که گفته می‌شود اندازه حرکت خطی مقداری ثابت است، با توجه به اینکه اندازه حرکت خطی کمیتی برداری است، لذا از ثابت بودن اندازه خطی سه شرط حاصل می‌شود. در صورتی که قانون بقای انرژی برای حرکت یک دستگاه فقط یک شرط در اختیار ما قرار می‌دهد، چون انرژی یک کمیت نرده‌ای است.

گسترده عمل قانون بقای اندازه حرکت خطی

قانون بقای اندازه حرکت خطی حتی در فیزیک اتمی و هسته‌ای نیز صادق است. هرچند در آن محدوده، مکانیک نیوتنی معتبر نیست، لذا قانون بقای تکانه خطی باید اساسی‌تر از قوانین نیوتن باشد و لذا برای بدست آوردن آن باید فرض‌هایی قویتر از آنچه لازم است، باید به عنوان مبنای کار مورد توجه قرار گیرد. این امر حتی در چارچوب مکانیک کلاسیک نیز صادق است.

نقش قانون سوم نیوتن در مناسبه قانون بقای تکانه خطی

قانون سوم نیوتن این فرض را که مجموعه نیروهای داخلی وارد بر تمام ذرات صفر است، توجیه می‌کند، اما گفتن این مطلب که نیروهای داخلی در قسمتی از جسم ناشی از زوج نیروهای مساوی و مخالف میان زوج اتمهای مختلف است، تا حدی ساختگی به نظر می‌رسد. این نیروهای داخلی در واقع نیروهای چند جانبه‌ای هستند که نه تنها به فاصله نسبی اتمها و سمت‌گیری آنها در فضا، بلکه به وضعیت و سمت‌گیری اتمهای مجاور نیز بستگی دارند. اگر اثبات فرض ما بدون استفاده از قانون سوم نیوتن امکان‌پذیر بود، قانون پایستگی تکانه به اعتبار قانون سوم حرکت بستگی پیدا نمی‌کرد.

کاربرد قانون پایستگی تکانه خطی

یکی از بارزترین کاربردهای قانون پایستگی تکانه خطی در بررسی حرکت پرتابی با فرض صفر بودن نیروی مقاومت هواست. به عنوان مثال، گلوله‌ای را در نظر بگیرید که یک مسیر سهموی را در فضا می‌پیماید. در حین حرکت، گلوله ناگهان منفجر می‌شود. اگر بخواهیم این نوع حرکت را بدون استفاده از قانون بقای تکانه حل کنیم، بسیار مشکل خواهد بود.

کاربرد دیگر قانون بقای تکانه خطی در تشریح مسائل برخورد است. هنگامی که دو ذره با یکدیگر برخورد می‌کنند، چون برآیند نیروهای وارد بر سیستم صفر است، لذا اندازه حرکت خطی بقا خواهد داشت. البته قانون بقای اندازه حرکت خطی کاربردهای دیگری نیز دارد که در اینجا به خاطر طولانی نبودن مطلب از ذکر آنها خودداری شد.

نظریه برخورد :

نظریه برخورد همانگونه که از نامش پیداست، به بررسی برخورد ذرات مختلف با یکدیگر می‌پردازد. بسیاری از سؤالات مربوط به برخورد را می‌توان با استفاده از [قوانین بقا](#) جواب داد.

مقدمه

چون قوانین بقا در [مکانیک کوانتومی](#) نیز معتبر هستند، لذا نتایجی که از استعمال آنها حاصل می‌شود که در مورد ذراتی با اندازه‌های اتمی و زیراتمی و کلان نیز معتبر است. در بیشتر مسائل برخورد، ذرات برخورد کننده با سرعت ثابت حرکت می‌کنند و مدتی قبل از برخورد و بعد از آن تحت تأثیر هیچگونه نیرویی قرار نمی‌گیرند، در حالی که به هنگام برخورد، تحت تأثیر نیروهایی هستند که بر یکدیگر وارد می‌کنند. بنابراین از آنچه گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که برخورد را می‌توان با توجه به نوع و اندازه ذرات برخورد کننده مورد مطالعه قرار داد. به عنوان مثال، در برخورد دو ذره با اندازه‌های بزرگ، برخورد و تماس ذرات با یکدیگر کاملاً اتفاق می‌افتد، در صورتی که در برخورد ذرات باردار اصلاً تماسی بین ذرات صورت نمی‌گیرد، بلکه ذرات در اثر نیروهایی که به یکدیگر وارد می‌کنند، از کنار یکدیگر پراکنده می‌شوند. بنابراین، در حالت کلی برخورد را می‌توان از دو دیدگاه [مکانیک کلاسیک](#) و مکانیک کوانتومی مورد مطالعه قرار داد.

نظریه برخورد از دیدگاه مکانیک کلاسیک



دو ذره با اندازه‌های معمولی را در نظر می‌گیریم که در حالت کلی به طرف یکدیگر در حال حرکت هستند. ذرات بعد از برخورد با یکدیگر در مسیرهای متفاوت پراکنده می‌شوند. در این حالت اگر نیروهای متقابل به هنگام برخورد، تابع قانون سوم نیوتن باشند، اندازه حرکت خطی کل ذرات قبل از برخورد و بعد از برخورد برابر خواهد بود. اگر قانون سوم نیوتن بصورت دقیقش معتبر باشد، اندازه حرکت زاویه‌ای کل نیز بقا خواهد داشت (بقای اندازه حرکت زاویه‌ای) همچنین اگر نیروهای متقابل پایستار باشند، (به عنوان مثال نیروی اصطکاک یا نیروهای غیرپایستار دیگر وجود نداشته باشد. انرژی جنبشی ثابت خواهد بود (چون انرژی پتانسیل قبل و بعد از برخورد یکسان است). در هر حال، اگر تمام انرژی و اندازه حرکت خطی و زاویه‌ای از جمله آنچه را که با تمام تشعشعات صادر شده از دستگاه و تمام انرژی‌هایی که از صورت جنبشی به صورتهای دیگر و بالعکس تبدیل می‌شوند، همراه است، در نظر بگیریم، قوانین بقا همیشه معتبر خواهند بود.

شایان ذکر است که آنچه در مورد برخورد ذرات در مکانیک کلاسیک گفته شد، در حالت کلی است. به عبارت دیگر، برخورد در مکانیک کلاسیک را می‌توان با توجه به ابعاد سیستم مورد بررسی قرار داده و نیروهای متقابل بین ذرات برخورد کننده را بصورت مبسوط شرح داد.

انواع برخورد در مکانیک کلاسیک

برخورد الاستیک

در این حالت اندازه حرکت خطی دو ذره، قبل و بعد از برخورد بقا خواهد داشت و علاوه بر آن انرژی جنبشی نیز ثابت خواهد بود و ذرات بعد از برخورد متناسب با جرم خود و سرعت قبل از برخورد پراکنده می‌شوند. در این حالت هیچگونه نیروی تلف کننده یا غیرپایستاری وجود ندارد.

برخورد غیرالاستیک

اگر یکی از نیروهای متقابل بین ذرات برخورد کننده، غیرپایستار باشد، در این صورت انرژی جنبشی قبل از برخورد و بعد از برخورد یکسان نخواهد بود و بسته به علامت تفاضل انرژی جنبشی قبل از برخورد و بعد از برخورد، برخورد انرژی گیر یا انرژی‌زا خواهد بود. در این حالت فقط اندازه حرکت بقا خواهد داشت.

برخورد غیرالاستیک کامل

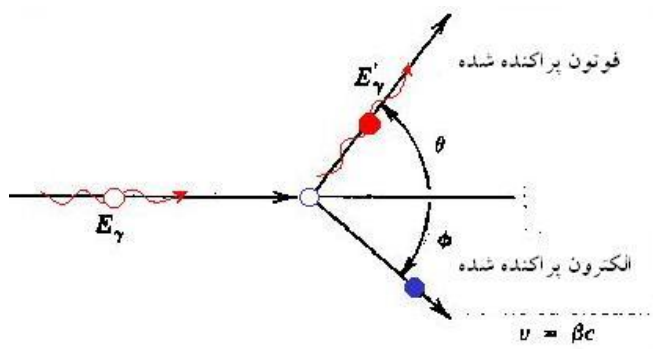
اگر ذرات در اثر برخورد به یکدیگر چسبیده و بعد از برخورد به همراه یکدیگر مانند یک جسم حرکت کنند، برخورد را غیرالاستیک کامل می‌گویند. به عنوان مثال، تکه چوبی را در نظر بگیرید که بوسیله دو تکه ریسمان از محلی آویخته شده است، اگر گلوله‌ای را به طرف این تکه چوب شلیک کنیم، گلوله در داخل تکه چوب قرار می‌گیرد و بعد از برخورد این دو با هم حرکت می‌کنند.

برخورد در مکانیک کوانتومی



ساختار اتم و مولکول بیشتر از طریق طیف نمایی کند و کاو شده است. برای درک نیروهای هسته‌ای و قوانین حاکم بر برهمکنشهای بین ذرات بنیادی، تنها تکنیک قابل استفاده، پراکندگی ذرات گوناگون بوسیله هدفهای مختلف است. به عنوان مثال، رادرفور برای مطالعه ساختار اتمی ابتدا صفحه طلا را بوسیله ذرات آلفا مورد بمباران قرار داد و با مطالعه ذرات پراکنده شده، به مطالعه ساختار اتمها پرداخت. اتمی را در نظر بگیرید که در حالت پایه خود قرار دارد. اگر این اتم به نحوی (مثل گرم کردن) تحریک شود و به ترازهای بالاتر برانگیخته شود، بعد از مدت کوتاهی با صدور یک فوتون به حالت پایه خود برمی‌گردد. این فرآیند را پراکندگی یا برخورد نمی‌گویند، بلکه این فرآیند تنها یک فرآیند تحریک است، اما در هسته‌ها و ذرات بنیادی چون طول عمر ذرات به حد کافی طولانی نیست، لذا تفکیک بین پراکندگی و واپاشی تقریباً غیر ممکن است.

سطح مقطع برهمورد



$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (E_\gamma / m_e c^2) \cdot (1 - \cos \theta)}$$

در مورد ذرات با ابعاد اتمی و زیراتمی چون اندازه ذرات برخورد کننده بسیار کوچک است، بنابراین با تعریف کمیتی به نام سطح مقطع برخورد، این فرآیند مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شیوه ایده‌آل صحبت از پراکندگی، فرمولبندی کردن معادلاتی است که آنچه را که اتفاق می‌افتد، دقیقاً توصیف می‌کنند. از طرف دیگر، چون بر اساس نظریه دوبروی به هر ذره مادی یک حالت موجی نیز نسبت می‌دهیم، بنابراین نزدیک شدن ذره فرودی به ذره هدف را به صورت یک بسته موجی تعریف می‌کنیم که به آن نزدیک می‌شود.

بسته موج باید از لحاظ فضایی بزرگ باشد، بطوری که در طول آزمایش بطور محسوس پهن نشود و باید در مقایسه با ذره هدف بزرگ ولی در مقایسه با ابعاد آزمایشگاه کوچک باشد، یعنی نباید همزمان هدف و آشکارساز را همپوشی کند. ابعاد جانبی در واقع از اندازه باریکه در شتاب دهنده تعیین می‌شوند. در آنجا برهمکنش با هدف صورت می‌گیرد و سرانجام دو بسته موج می‌بینیم. یکی از آن دو که مستقیم به جلو می‌رود و قسمت پراکنده نشده باریکه فرودی را تشکیل می‌دهد و دیگری تحت زاویه‌ای پراکنده می‌شود و ذرات پراکنده شده را توصیف می‌کند. تعداد ذرات پراکنده شده به درون زاویه فضایی مفروض، در واحد زمان و واحد شار فرودی، به عنوان مقطع پراکندگی دیفرانسیلی تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، در اطراف ذره هدف سطحی تعریف می‌شود که اگر ذره فرودی به داخل این سطح وارد شود، برخورد صورت می‌گیرد، در غیر این صورت، برخورد، وجود نخواهد داشت. این سطح فرضی به عنوان سطح مقطع برخورد معروف است.

مثالی از برهمورد کوانتومی

یک نمونه بسیار بارز از اینگونه برخورد، پراکندگی کامپتون می‌باشد. در این حالت تابشی با طول موج مفروض به یک ورقه فلزی تابانده می‌شود. این باریکه را طبق نظریه پلانک می‌توان به صورت فوتونهایی با انرژی $h\nu$ در نظر گرفت. بنابراین فوتون با الکترون در حال سکونی در داخل اتم برخورد می‌کنند. بعد از برخورد یک فوتون پراکنده و یک فوتون پس‌زده شده،



خواهیم داشت (اثر فتوالکتریک). روابط مربوط به این پدیده را با لحاظ کردن قوانین بقای اندازه حرکت و انرژی می توان بدست آورد .

وسایل آزمایش:

دستگاه مخصوص برخورد ، مقداری موم .

شرح عملی آزمایش:

قسمت (۱) برخورد نرم:

ابتدا اجسام آویزان جهت برخورد تنظیم شد. حال جسم استوانه ای روبروی نقطه صفر تنظیم شد. سپس کره نیز به آرام کنار آن قرار داده شد به گونه ای که با یکدیگر زاویه α ساختند و زاویه هر کدام با خط صفر محاسبه شد (θ_B زاویه کره و خط صفر). محل تماس دو کره به خمیر آغشته شد تا برخورد نرم صورت گیرد. سپس کره به اندازه تقریباً ۱۰ درجه (θ_A) منحرف و رها شد بعد از برخورد دو جسم به هم ملحق شدند و باهم شروع به حرکت کردند. تا نهایتاً نشانه ی استوانه به زاویه θ_E رسید و سپس چند مرحله تکرار شد و مقادیر در جدول (۱) ثبت شد.

قسمت (۲) برخورد تقریباً الاستیک:

این همان آزمایش قبل تکرار شد با این تفاوت که دیگر از خمیر (یا موم) استفاده نشد و مقادیر جدول (۱) با توجه به این تغییر بدست آورده شد و در جدول (۲) ثبت گردید.

جدول:

R طول (m) پاندول	M_1 جرم کره و موم (gr)	M_2 جرم استوانه و موم (gr)	$\theta_B(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\theta_A(^{\circ})$	$\theta_{E1}(^{\circ})$	$\theta_{E2}(^{\circ})$	$\theta_{E3}(^{\circ})$	$\overline{\theta_E}(^{\circ})$
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۱۰	۳	۴	۳	۳.۳۳
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۱۵	۵	۴	۵	۴.۶۶
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۲۰	۵	۶	۶	۵.۶۶

جدول (۱)

R طول (m) پاندول	M_1 جرم کره (gr)	M_2 جرم استوانه (gr)	$\theta_B(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\theta_A(^{\circ})$	$\theta_{C1}(^{\circ})$	$\theta_{C2}(^{\circ})$	$\theta_{C3}(^{\circ})$	$\overline{\theta_C}(^{\circ})$	$\theta_{E1}(^{\circ})$	$\theta_{E2}(^{\circ})$	$\theta_{E3}(^{\circ})$	$\overline{\theta_E}(^{\circ})$
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۱۰	۵	۶	۴	۵	۳	۴	۵	۴
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۱۵	۶	۶	۶	۶	۶	۷	۶	۶.۳۳
۰.۸۴	۳۵۶	۱۱۶۵	۳	۱	۲۰	۸	۷	۷	۷.۳۳	۷	۸	۷	۷.۳۳

محاسبات و خطاها:

جدول (۱)

$$\overline{\theta_{E1}} = \frac{3 + 4 + 3}{3} = 3.33^\circ \quad \overline{\theta_{E2}} = \frac{5 + 4 + 5}{3} = 4.66^\circ \quad \overline{\theta_{E3}} = \frac{5 + 6 + 6}{3} = 5.66^\circ$$

$$V_1 = \sqrt{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 10)} = 0.460 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_1 = \sqrt{2gR(\cos\alpha - \cos(\theta_E - \alpha))} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 1 - \cos 2.33)} = 0.106 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \sqrt{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 15)} = 0.720 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{2gR(\cos\alpha - \cos(\theta_E - \alpha))} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 1 - \cos 3.66)} = 0.178 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \sqrt{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 20)} = 0.980 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_3 = \sqrt{2gR(\cos\alpha - \cos(\theta_E - \alpha))} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 1 - \cos 4.66)} = 0.230 \text{ m/s}$$

$$L_1 = \frac{\text{انرژی جنبشی کل بعد از برخورد} - \text{انرژی جنبشی کل قبل از برخورد}}{\text{انرژی جنبشی کل قبل از برخورد}} = \frac{\frac{1}{2}m_1v_1^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{v}^2}{\frac{1}{2}m_1v_1^2}$$

$$L_1 = \frac{37.66 - 8.54}{37.66} = 0.77 \quad L_2 = \frac{92.27 - 24.09}{92.27} = 0.77 \quad L_3 = \frac{170.95 - 40.23}{170.95} = 0.76$$

$$\ln v_1 = \frac{1}{2} \ln 2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)$$

$$\Rightarrow \frac{dv_1}{v_1} = \frac{\frac{1}{2}2g[dR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A) + R(-\sin(\theta_B + \alpha)d(\theta_B + \alpha) + d\theta_A \sin\theta_A)]}{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)}$$

$$\Delta v_1 = \frac{v_1[\Delta R(\cos(\theta_B + \alpha) + \cos\theta_A) + R2\Delta\theta \sin(\theta_B + \alpha) + \Delta\theta_A \sin\theta_A]}{2R(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos\theta_A)}$$

$$\Delta v_1 = \frac{0.46[1(\cos 4 + \cos 10) + 0.84 \times 2 \times 0.017 \sin 4 + 0.017 \sin 10]}{2 \times 0.84(\cos 4 - \cos 10)} = 0.46$$

$$\Delta v_2 = \frac{0.72[1(\cos 4 + \cos 15) + 0.84 \times 2 \times 0.017 \sin 4 + 0.017 \sin 15]}{2 \times 0.84(\cos 4 - \cos 15)} = 0.29$$

$$\Delta v_3 = \frac{0.98[1(\cos 4 + \cos 20) + 0.84 \times 2 \times 0.017 \sin 4 + 0.017 \sin 20]}{2 \times 0.84(\cos 4 - \cos 20)} = 0.21$$



دانشگاه سندھ
یونیورسٹی

$$\ln \dot{v}_1 = \frac{1}{2} \ln 2gR(\cos \alpha - \cos(\theta_E - \alpha))$$

$$\Rightarrow \frac{d\dot{v}_1}{\dot{v}_1} = \frac{\frac{1}{2} 2g[dR(\cos \alpha - \cos(\theta_E - \alpha)) + R(-\sin \alpha d\alpha + \sin(\theta_E - \alpha)(d\theta_E - d\alpha)]}{2gR(\cos \alpha - \cos(\theta_E - \alpha))}$$

$$\Delta \dot{v}_1 = \frac{\dot{v}_1 [\Delta R(\cos \alpha + \cos(\theta_E - \alpha)) + R(\Delta \theta \sin \alpha + \sin(\theta_E - \alpha)(\Delta \theta_E - \Delta \alpha)]}{2R(\cos \alpha - \cos(\theta_E - \alpha))}$$

$$\Delta R = 0.01m \quad \Delta \theta = 1^\circ = 0.017rad \quad \Delta \theta_{E1} = \text{Max}\{0.33, 0.97, 0.33\} = 0.97 + 1 = 1.97 = 0.029rad$$

$$\Delta \dot{v}_1 = \frac{0.106[1(\cos 1 + \cos 2.33) + 0.84(0.017 \sin 1 + \sin 2.33 \times 0.012)]}{2 \times 0.84(\cos 1 - \cos 2.33)} = 2.45$$

$$\Delta \theta_{E2} = \text{Max}\{0.34, 0.66, 0.34\} = 0.66 + 1 = 1.66 = 0.011rad$$

$$\Delta \dot{v}_2 = \frac{0.178[1(\cos 1 + \cos 3.66) + 0.84(0.017 \sin 1 + \sin 3.66 \times 0.011)]}{2 \times 0.84(\cos 1 - \cos 3.66)} = 1.45$$

$$\Delta \theta_{E3} = \text{Max}\{0.34, 0.66, 0.34\} = 0.66 + 1 = 1.66 = 0.011rad$$

$$\Delta \dot{v}_2 = \frac{0.23[1(\cos 1 + \cos 4.66) + 0.84(0.017 \sin 1 + \sin 4.66 \times 0.011)]}{2 \times 0.84(\cos 1 - \cos 4.66)} = 0.86$$

جدول (۲)

$$\overline{\theta_{c1}} = \frac{6 + 4 + 5}{3} = 5^\circ \quad \overline{\theta_{c2}} = \frac{6 + 6 + 6}{3} = 6^\circ \quad \overline{\theta_{c3}} = \frac{7 + 8 + 7}{3} = 7.33^\circ$$

$$\overline{\theta_{E1}} = \frac{3 + 4 + 5}{3} = 4^\circ \quad \overline{\theta_{E2}} = \frac{6 + 7 + 6}{3} = 6.33^\circ \quad \overline{\theta_{E3}} = \frac{7 + 8 + 7}{3} = 7.33^\circ$$

$$V_1 = \sqrt{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos \theta_A)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 10)} = 0.460m/s$$

$$\dot{V}_1 = \sqrt{2gR(\cos(\theta_B + \alpha) - \cos \theta_c)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 5)} = 0.156m/s$$

$$\dot{V}_1 = \sqrt{2gR(1 - \cos \theta_E)} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(1 - \cos 3)} = 0.151 m/s$$

$$l_1 = \frac{37.66 - 4.006 - 13.10}{37.66} = 0.54$$

$$e_1 = \frac{0.0001}{0.46} = 0.0002$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 15)} = 0.720m/s$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 6)} = 0.226m/s$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(1 - \cos 6.33)} = 0.36 m/s$$





$$e_2 = \frac{92.27 - 9.09 - 59.64}{92.27} = 0.47$$

$$e_2 = \frac{0.043}{0.72} = 0.158$$

$$V_3 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 20)} = 0.98 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_3 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(\cos 4 - \cos 7)} = 0.29 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_3 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.84(1 - \cos 7.33)} = 0.37 \text{ m/s}$$

$$l_3 = \frac{170.95 - 15.34 - 79.74}{170.95} = 0.44$$

$$e_3 = \frac{0.08}{0.98} = 0.816$$

نتیجه گیری:

با انجام این آزمایشات قانون بقای اندازه حرکت براحتی قابل اثبات است.

پرسشها:

(۱) ضریب بازگشت e در یک برخورد الاستیک ایده آل چه قدر است؟

برابر یک می باشد.

(۲) به کمک اعداد مندرج در جدول (۱) ممثوم کل را قبل و بعد از برخورد به دست آورید.

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 356 \times 0.46 + 0 = 163.76$$

قبل از برخورد

$$p = (m_1 + m_2) v_2 = 161.226$$

بعد از برخورد

(۳) رابطه (۳) در دستور کار را ثابت کنید.

(۴) ممثوم کل قبل از برخورد را با ممثوم کل بعد از برخورد به کمک اعداد مندرج در جدول (۲) بدست آورید و باهم مقایسه کنید.

$$p = p_1 + p_2 = 356 \times 0.98 + 0 = 348.8$$

قبل از برخورد

$$p = p_1 + p_2 = 328$$

بعد از برخورد



۵) کاهش نسبی انرژی جنبشی را محاسبه کنید (در برخورد دوم) و آن را با کاهش نسبی انرژی حالت قبل مقایسه کنید.

در قسمت محاسبات موجود می باشد.

- ۶) ضریب بازگشت e در آزمایش دوم چه اندازه است؟
- ۷) نشان دهید ضریب بازگشت در یک برخورد الاستیک ایده آل برابر واحد است.
- ۸) کاهش انرژی جنبشی در آزمایش دوم به چه نوع انرژی تبدیل شده است؟
- ۹) برای اینکه دقت آزمایش بیشتر شود بهتر است طول پاندول ها کوتاه انتخاب شوند یا بلند؟
- ۱۰) اگر برخورد دو جسم مقداری از یک جسم ذوب گردد برخورد انجام شده چه نوع برخوردی است؟