

نام و نام خانوادگی: پیام دلگشا	شماره دانشجویی: ۸۶۱۰۳۶۷۳	رشته: مهندسی برق
گروه: ۲۹	زیر گروه: A	تاریخ انجام آزمایش: ۱۴ آذر ۱۳۸۶
دستیار آموزشی: خانم علیپور		ساعت: ۸ صبح

آزمایش شماره: ۸

عنوان آزمایش: برخورد (بقای تکانه)

هدف: بررسی برخوردهای کشسان و ناکشسان بین دو جسم در یک بعد

وسایل مورد نیاز: ۱- ریل با پایه ی هوا ۲- آغازگر حرکت متصل به ریل هوا (تفنگ فنی) ۳- دو عدد زمان سنج (*Step by Step*) ۴- دو عدد سنسور نوری ۵- دو عدد سره ۶- دو عدد تیغه ی پایه دار ۱۰ سانتیمتری ۷- وزنه ی سوراخ دار ۵۰ گرمی ۸- ضربه گیر آلومینیومی حاوی خمیر بازی ۹- سوزن برخورد قابل اتصال به سره ۱۰- تیغه ی برخورد ۱۱- ضربه گیر لاستیکی قابل اتصال به سره

نظریه

تکانه ی خطی بنابر تعریف برای هر ذره حاصل ضرب جرم آن ذره در بردار سرعت خطی آن ضربه است؛ بنابراین تکانه ی خطی یک کمیت برداری است.

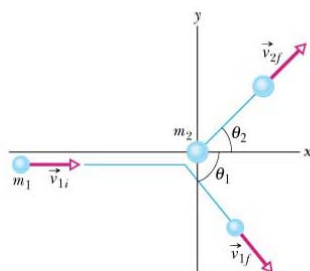
می توان نشان داد که اگر نیروی خارجی به یک سیستم ذرات وارد نشود، مجموع اندازه حرکت آن ذرات آن سیستم ثابت می ماند.

بنابر قضیه ی بالا در هر برخوردی که سیستم ایزوله باشد (نیروی خارجی نداشته باشیم) تکانه ی سیستم ثابت باقی می ماند ولی ممکن است انرژی سیستم به دلیل نیروهای اتلافی تغییر کند. در حالت کلی برخوردها به دو نوع کشسان (الاستیک) و ناکشسان (غیرالاستیک) تقسیم می شوند. برخوردهای کشسان برخوردهایی هستند که انرژی در آنها ثابت می ماند و برخوردهای غیر کشسان برخوردهای هستند که انرژی در آنها کمی اتلاف می شود. می توان نشان داد که بیشترین اتلاف انرژی در یک برخورد برای حالتی است که دو جسم پس از برخورد به همدیگر بچسبند. برای تعیین میزان کشسان بودن یک برخورد، معیاری به نام ضریب بازگشت برخورد (بین دو ذره) تعریف می شود که به صورت زیر تعریف می گردد:

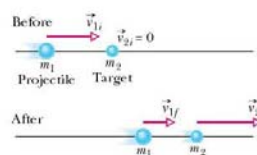
$$\varepsilon = \frac{|v_{2f} - v_{1f}|}{|v_{2i} - v_{1i}|}$$

برای حالتی که برخورد کاملاً کشسان باشد، ضریب بازگشت ۱ و برای حالتی که برخورد کاملاً ناکشسان باشد، ضریب بازگشت برابر صفر می شود. (چون دو جسم به همدیگر می چسبند و سرعت نهایی آنها برابر شده در نتیجه صورت کسر صفر خواهد شد). هرچه ضریب بازگشت به ۱ نزدیکتر باشد، می گوییم برخورد خاصیت الاستیکی بیشتری دارد و هرچه به صفر نزدیک تر باشد، می توانیم خاصیت الاستیکی کمتری دارد یا غیرالاستیک تر است.

شکل ۱ شمای کلی یک برخورد در یک بعد را نشان می دهد. البته لزومی ندارد برخورد در یک بعد صورت گیرد و ممکن است مانند شکل ۲ در دو بعد و یا حتی در سه بعد انجام شود.



شکل ۲ - برخورد در دو بعد



شکل ۱ - برخورد در یک بعد

روند انجام آزمایش

الف) برخورد کشسان سره با دیواره ی صلب

یکی از تیغه ها را که به انتهای آن کش وصل کرده ایم، به کمک تفنگ پرتاب کننده روی ریل پرتاب می کنیم تا در انتهای ریل به دیواره ی صلب برخورد کند و بازگردد. قبل از برخورد و پس از برخورد به کمک اندازه گیری زمان عبور تیغه از سنسور، سرعت آن را اندازه می گیریم.

ب) برخورد کشسان دو جسم با جرم مساوی

فاصله ی دو سنسور را حدود سه برابر طول سره قرار می دهیم. تیغه ی برخورد را روی سره ی اول و ضربه یر لاستیکی را روی سره ی دوم نصب می کنیم. سره ی دوم را درست قبل از سنسور دوم قرار می دهیم. سره ی اول را جلوی آغاز گر حرکت (تفنگ فنی) قرار می دهیم و آن را به طور کامل می کشیم و سره را در تماس با آن قرار می دهیم. سره ی اول را رها می کنیم تا به سره ی اول برخورد کند. سرعت سره ی اول پیش از برخورد و سرعت سره ی دوم پس از برخورد را اندازه می گیریم؛ چون جرم دو سره تقریباً برابر است، سره ی اول ساکن می ماند و سره ی دوم با همان سرعت به مسیر ادامه می دهد.

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

در این حالت روی سره ی دوم دو وزنه ی ۵۰ گرمی می گذاریم و آزمایش قبل را تکرار می کنیم. سره ی اول پس از برخورد با سره ی دوم برمی گردد و سره ی دوم با یک سرعت اولیه به مسیر خود ادامه می دهد. سرعت سره ی اول قبل از برخورد و سرعت دو سره پس از برخورد را اندازه گیری می کنیم.

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

روی سره ی اول شش وزنه ی ۵۰ گرمی قرار می دهیم و آزمایش قبل را تکرار می کنیم. در این حالت پس از برخورد سره ی اول به مسیر خود ادامه می دهد و سره ی دوم را با سرعتی بیشتر از سرعت خود به جلو پرت می کند. (می توان نشان داد اگر جرم سره ی اول بسیار بیشتر از سره ی دوم باشد، سرعت سره ی دوم پس از برخورد دو برابر سرعت سره ی اول خواهد شد.

ث) برخورد غیر کشسان دو جسم

در این حالت با استفاده از خمیری که به سره ی دوم وصل می کنیم و سوزنی که به سره ی اول تا پس از برخورد دو سره به هم بچسبند، یک برخورد کاملاً ناکشسان را طراحی می کنیم. سرعت سره ی اول پیش از برخورد و سرعت دو سره ی به هم چسبیده پس از برخورد را اندازه می گیریم.

جداول

* توجه: تمامی زمان ها بر حسب میلی ثانیه و تمامی جرم ها بر حسب گرم اندازه گیری شده اند.

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
1	125	125	189	185
2	125	126	186	185
3	128	129	188	185
4	119	120	185	181
5	126	126	189	185
6	126	128	188	184

مجموع جرم سره و اتصالات روی آن: ۲۳۲/۸ گرم

فاصله ی سنسور اول تا انتهای ریل: ۹۰ سانتیمتر

جدول ۲

ردیف	زمان عبور سره ی اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره ی دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	121	161
2	134	166
3	128	164
4	123	161
5	127	168
6	126	170

جرم سره ی اول: ۲۳۴/۹ گرم

جرم سره ی دوم: ۲۳۲/۶ گرم

جدول ۳

ردیف	زمان عبور سره ی اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره ی دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	زمان عبور سره ی اول از سنسور اول بعد از برخورد
1	122	208	122
2	129	211	882
3	122	207	998
4	120	205	937
5	126	216	996
6	132	219	883

جرم سره ی اول: ۲۳۴/۸ گرم

جرم سره ی دوم: ۳۳۲/۴ گرم

جدول ۴

ردیف	زمان عبور سره ی اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره ی دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	زمان عبور سره ی اول از سنسور دوم بعد از برخورد
1	172	132	685
2	198	151	1051
3	185	136	800
4	169	130	629
5	191	141	677
6	181	142	545

جرم سره ی اول: ۵۳۳/۸ گرم

جرم سره ی دوم: ۲۳۲/۸

جدول ۵

ردیف	زمان عبور سره ی اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره ی دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	123	304
2	118	289
3	114	305
4	118	292
5	127	350
6	132	371

جرم سره ی اول: ۲۳۵/۱ گرم

جرم سره ی دوم: ۲۴۸/۵ گرم

خواسته ها

خواسته ی ۱

در کلیه ی بخشهای آزمایش، از تیغه ی ۱۰ سانتیمتری بر روی جفت سره ها استفاده شده است. پس سرعت هر سره را می توان از تقسیم $۰/۱$ متر بر زمانی که طول کشیده تا از بین سنسور نوری بگذرد محاسبه کرد. (باید دقت کرد زمانها بر حسب میلی ثانیه اندازه گیری شده اند).

در جداول زیر با استفاده از داده های خام آزمایش و با کمک از روش بالا، سرعت سره ها در هر قسمت محاسبه شده است. اندازه حرکت هر سره هم که از ضرب جرم آن سره در سرعت آن بدست می آید.

• برای آزمایش الف، جدول ۱

در جدول ۶ سرعت سره آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب متر بر ثانیه هستند).

جدول ۶ - سرعت های مربوط به جدول ۱

ردیف	سرعت هنگام عبور از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت هنگام عبور از سنسور دوم قبل از برخورد	سرعت هنگام عبور از سنسور اول بعد از برخورد	سرعت هنگام عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.8	0.8	0.5291	0.5405
2	0.8	0.7937	0.5376	0.5405
3	0.7813	0.7752	0.5319	0.5405
4	0.8403	0.8333	0.5405	0.5525
5	0.7937	0.7937	0.5291	0.5405
6	0.7937	0.7813	0.5319	0.5435

باید توجه کرد که در جدول بالا صرفا اندازه ی سرعت ها آورده شده است و جهت آنها در نظر گرفته نشده است و سرعت بعد از برخورد با احتساب جهت، منفی سرعت قبل از برخورد است.

اندازه ی حرکت سره با احتساب علامت (مثبت جهت حرکت سره هنگامی است که به وسیله ی تفنگ شلیک می شود) و با توجه به این که جرم سره به همراه محتویات روی آن $۲۳۲/۸$ گرم است، در جدول ۷ آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۷ - اندازه حرکت های مربوط به جدول ۱

ردیف	اندازه حرکت سره هنگام عبور از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت سره هنگام عبور از سنسور دوم قبل از برخورد	اندازه حرکت سره هنگام عبور از سنسور اول بعد از برخورد	اندازه حرکت سره هنگام عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.186	0.186	-0.123	-0.126
2	0.186	0.185	-0.125	-0.126
3	0.182	0.18	-0.124	-0.126
4	0.196	0.194	-0.126	-0.129
5	0.185	0.185	-0.123	-0.126
6	0.185	0.182	-0.124	-0.127

انتظار می رود اندازه حرکت سره هنگام عبور از سنسور اول و دوم بعد یا قبل از برخورد یکسان باشد، چون در آن مدت تقریبا نیرویی از خارج به سره وارد نمی شود چون اصطکاک ناچیز، این موضوع در جدل به خوبی دیده می شود؛

به طوری که اندازه حرکت هنگام عبور از سنسور دوم قبل از برخورد به دلیل این نیروی خارجی، کمی کاهش یافته و همین طور اندازه حرکت هنگام عبور از سنسور اول بعد از برخورد کمتر از مقدار مشابه آن هنگام عبور از سنسور دوم بعد از برخورد است. (بعد از برخورد سره ابتدا از سنسور دوم می گذرد).

موضوع دیگری که انتظار مشاهده ی آن را داریم، این است که مقدار اندازه حرکت قبل از برخورد و بعد از آن تغییر نکند و تنها علامت آن منفی شود. (چون در واقع سره به یک مانع ثابت برخورد کرده). ولی در عمل می بینیم این مقدار کاهش پیدا کرده، چون نیروهای مقاومتی وجود دارند. برای محاسبه ی تغییر اندازه حرکت سره هنگام برخورد با انتهای ریل هوا، اندازه ی حرکت آن قبل و بعد از برخورد را میانگین دو اندازه حرکت اندازه گیری شده فرض می کنیم. نتایج در جدول ۸ آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۸ - تغییرات اندازه حرکت در طول برخورد

ردیف	میانگین اندازه حرکت پیش از برخورد	میانگین اندازه حرکت پس از برخورد	$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$
1	0.186	-0.125	167
2	0.186	-0.125	168
3	0.181	-0.125	169
4	0.195	-0.127	165
5	0.185	-0.125	167
6	0.183	-0.125	168

برای این حالت $\Delta P_{average} = 167$. همان طور که گفته شده، مقدار $\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$ انتظار می رود که ۲۰۰

باشد، چون اندازه حرکت باید با اندازه ی ثابت، تنها تغییر علامت دهد، ولی به دلیل وجود نیروهای مقاومتی مانند اصطکاک هوا و اصطکاک ریل هوا این اتفاق نمی افتد.

• برای آزمایش ب - جدول ۲

به طریق مشابه می توان سرعت سره ها را پیش و پس از برخورد محاسبه کرد. نتایج در جدول ۹ آورده شده است. (همه ی داده ها در این جدول بر حسب متر بر ثانیه هستند).

جدول ۹ - سرعت های مربوط به جدول ۲

ردیف	سرعت سره ی اول قبل از برخورد	سرعت سره ی دوم بعد از برخورد
1	0.826	0.621
2	0.746	0.602
3	0.781	0.610
4	0.813	0.621
5	0.787	0.595
6	0.794	0.588

اندازه حرکت ها را هم با توجه به جرم سره ها می توان بدست آورد. اندازه حرکت ها و ΔP ها در جدول ۱۰ آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۰ - اندازه حرکت های مربوط به جدول ۲

ردیف	اندازه حرکت سره ی اول قبل از برخورد	اندازه حرکت سره ی دوم بعد از برخورد	$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$
1	0.194	0.144	25.8
2	0.175	0.140	20.0
3	0.183	0.142	22.4
4	0.191	0.144	24.6
5	0.185	0.138	25.4
6	0.187	0.137	26.7

برای این جدول $\Delta P_{average} = 24.2$.

در این آزمایش انتظار می رود که اندازه حرکت ها ثابت بمانند، چون مانند قسمت الف نیروی خارجی ناشی از دیوار نداریم، ولی همان طور که دیده می شود، نیروی اصطکاک اندک روی ریل هوا، اصطکاک هوا از این مساله جلوگیری می کنند.

• برای آزمایش پ - جدول ۳

سرعت سره ها پیش و پس از برخورد در جدول ۱۱ آورده شده است. (همه ی سرعت ها بر حسب متر بر ثانیه هستند).

جدول ۱۱ - سرعت های مربوط به جدول ۳

ردیف	سرعت سره ی اول قبل از برخورد	سرعت سره ی دوم بعد از برخورد	سرعت سره ی اول بعد از برخورد
1	0.820	0.481	0.820
2	0.775	0.474	0.113
3	0.820	0.483	0.100
4	0.833	0.488	0.107
5	0.794	0.463	0.100
6	0.758	0.457	0.113

با توجه به جرم سره ها می توان اندازه حرکت سره ها را نیز محاسبه کرد. باید توجه کرد چون سره ی اول بعد از برخورد در جهت مخالف حرکت می کند، اندازه حرکت آن با علامت منفی ظاهر می شود. در جدول ۱۲ اندازه حرکت ها پیش و پس از برخورد آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۲ - اندازه حرکت های مربوط به جدول ۳

ردیف	اندازه حرکت سره ی اول قبل از برخورد	اندازه حرکت سره ی دوم بعد از برخورد	اندازه حرکت سره ی اول پس از برخورد
1	0.193	0.160	-0.193
2	0.182	0.158	-0.027
3	0.193	0.161	-0.023
4	0.196	0.162	-0.025
5	0.186	0.154	-0.023
6	0.178	0.152	-0.027

با توجه به اینکه اندازه حرکت سره ی دوم پیش از برخورد صفر است، می توان گفت مجموع اندازه حرکت های دو سره پیش از برخورد، برابر با اندازه حرکت سره ی اول و این مقدار پس از برخورد برابر مجموع اندازه حرکت دو سره پس از برخورد خواهد بود. در جدول ۱۳ مجموع اندازه حرکت ها و اختلاف آنها آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۳ - تغییرات اندازه حرکت پیش و پس از برخورد برای جدول ۳

ردیف	مجموع اندازه حرکت ها پیش از برخورد	مجموع اندازه حرکت ها پس از برخورد	$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$
1	0.193	-0.033	117.1
2	0.182	0.131	28.0
3	0.193	0.138	28.5
4	0.196	0.137	30.1
5	0.186	0.131	29.6
6	0.178	0.125	29.8

برای این جدول $\Delta P_{average} = 28.7$. (داده ی اول به دلیل پرت بودن حذف شد). در این حالت هم به دلیل وجود نیروهای اصطکاک هوا و ریل هوا اندازه حرکت پایستار نمی ماند.

• برای آزمایش ت - جدول ۴

در جدول ۱۴ سرعت های سره ها آورده شده است. (کلیه ی داده ها بر حسب متر بر ثانیه هستند).

جدول ۱۴ - سرعت های جدول ۴

ردیف	سرعت سره ی اول قبل از برخورد	سرعت سره ی دوم بعد از برخورد	سرعت سره ی اول بعد از برخورد
1	0.581	0.758	0.146
2	0.505	0.662	0.095
3	0.541	0.735	0.125
4	0.592	0.769	0.159
5	0.524	0.709	0.148
6	0.552	0.704	0.183

با توجه به جرم سره ها می توان اندازه حرکت آنها را محاسبه کرد؛ این مقادیر در جدول ۱۵ آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۵ - اندازه حرکت های جدول ۴

ردیف	اندازه حرکت سره ی اول پیش از برخورد	اندازه حرکت سره ی دوم بعد از برخورد	اندازه حرکت سره ی اول بعد از برخورد
1	0.310	0.176	0.078
2	0.270	0.154	0.051
3	0.289	0.171	0.067
4	0.316	0.179	0.085
5	0.280	0.165	0.079
6	0.295	0.164	0.098

با توجه به اینکه اندازه حرکت سره ی دوم پیش از برخورد صفر است، می توان مجموع اندازه حرکت ها پیش و پس از از برخورد و اختلاف آنها را محاسبه کرد؛ این مقادیر در جدول ۱۶ آمده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۶ - تغییرات اندازه حرکت ها مربوط به جدول ۴

ردیف	مجموع اندازه حرکت ها پیش از برخورد	مجموع اندازه حرکت ها پس از برخورد	$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$
1	0.310	0.254	18.1
2	0.270	0.205	24.1
3	0.289	0.238	17.6
4	0.316	0.264	16.5
5	0.280	0.244	12.9
6	0.295	0.262	11.2

برای این جدول $\Delta P_{average} = 16.7$.

تغییرات اندازه حرکت در طول برخورد به دلیل وجود نیروهای مقاومتی از جمله اصطکاک هوا و اصطکاک ریل هوا است.

برای آزمایش ث - جدول ۵

سرعت ها برای این آزمایش در جدول ۱۶ آورده شده است. باید دقت کرد چون پس از برخورد دو جسم به هم می چسبند، پس سرعت آنها برابر خواهد شد و می توان به آنها به عنوان یک جرم واحد نگاه کرد. (در جدول ۱۶ کلیه ی داده ها بر حسب متر بر ثانیه هستند).

جدول ۱۷ - سرعت های مربوط به جدول ۵

ردیف	سرعت سره ی اول پیش از برخورد	سرعت مجموع سره ها پس از برخورد
1	0.813	0.329
2	0.847	0.346
3	0.877	0.328
4	0.847	0.342
5	0.787	0.286
6	0.758	0.270

و با توجه به جرم سره ها می توان اندازه حرکت آنها را محاسبه کرد. چون دو جسم پس از برخورد به هم می چسبند، آنها را یک جسم با جرم مجموع سره ها در نظر می گیریم. در جدول ۱۸ مقادیر اندازه حرکت آورده شده است. (همه ی داده ها بر حسب $kg.m.s^{-1}$ هستند).

جدول ۱۸ - تغییرات اندازه حرکت برای جدول ۵

ردیف	مجموع اندازه حرکت پیش از برخورد	مجموع اندازه حرکت پس از برخورد	$\Delta P = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$
1	0.191	0.159	16.8
2	0.199	0.167	16.0
3	0.206	0.159	23.1
4	0.199	0.165	16.9
5	0.185	0.138	25.2
6	0.178	0.131	26.7

برای این جدول $\Delta P_{average} = 20.8$.

به دلیل وجود نیروهای اتلافی مانند اصطکاک هوا و اصطکاک ناچیز ریل هوا، اندازه حرکت سیستم مقداری کاهش یافته است.

خواسته ی ۲:

• برای آزمایش الف - جدول ۱

چون در آزمایش قسمت الف، تنها یک سره داریم، جسم دوم را زمین در نظر می گیریم که جرم بسیار زیادی دارد و سرعت آن در هر صورت صفر می ماند. پس مقدار ضریب بازگشت به تقسیم اندازه ی سرعت پس از برخورد به اندازه ی سرعت پیش از برخورد تبدیل خواهد شد. مقادیر ضریب بازگشت برای جدول ۱ با توجه به سرعت های محاسبه شده در جدول ۶، در جدول ۱۹ آورده شده است.

جدول ۱۹ - ضریب بازگشت برای جدول ۱

ردیف	$\varepsilon = \frac{ v_{2f} - v_{1f} }{ v_{2i} - v_{1i} }$
1	0.676
2	0.681
3	0.697
4	0.663
5	0.681
6	0.696

برای این حالت $\varepsilon_{average} = 0.677$. چون برخورد بین دو سره ی واقعی صورت نگرفته است، نمی توان تعبیر خوبی از این مقدار کرد.

• برای آزمایش ب - جدول ۲

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۹، ضرایب بازگشت محاسبه شده در جدول ۲۰ آورده شده است.

جدول ۲۰ - ضریب بازگشت برای جدول ۲

ردیف	$\varepsilon = \frac{ v_{2f} - v_{1f} }{ v_{2i} - v_{1i} }$
1	0.752
2	0.807
3	0.781
4	0.764
5	0.756
6	0.741

برای این حالت $\varepsilon_{average} = 0.767$. که نشان می دهد تا اندازه ای این برخورد کشسان است. (چون ضریب بازگشت به ۱ نزدیک است.)

• برای آزمایش پ - جدول ۳

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۱۱، ضرایب بازگشت محاسبه شده در جدول ۲۱ آورده شده است.

جدول ۲۱ - ضریب بازگشت برای جدول ۳

ردیف	$\varepsilon = \frac{ v_{2f} - v_{1f} }{ v_{2i} - v_{1i} }$
1	1.587
2	0.757
3	0.711
4	0.714
5	0.709
6	0.752

برای این حالت $\varepsilon_{average} = 0.729$. (داده ی اول به دلیل پرت بودن حذف شد.) این ضریب نشان می دهد که برخورد تقریباً کشسان بوده است.

• برای آزمایش ت - جدول ۴

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۱۴، ضرایب بازگشت محاسبه شده در جدول ۲۲ آورده شده است.

جدول ۲۲ - ضریب بازگشت برای جدول ۴

ردیف	$\varepsilon = \frac{ v_{2f} - v_{1f} }{ v_{2i} - v_{1i} }$
1	1.05
2	1.12
3	1.13
4	1.03
5	1.07
6	0.94

برای این حالت $\varepsilon_{average} = 1.06$ که نشان می دهد برخورد ها بسیار کشسان بوده اند. (چون ضریب بازگشت بسیار به ۱ نزدیک است.)

• برای آزمایش ت - جدول ۵

چون دو جسم به هم می چسبند و سرعتشان بعد از برخورد مساوی می شود، ضریب بازگشت در این حالت صفر است و برخورد کاملاً ناکشسان است.

خواسته ی ۳

با توجه به اینکه سره ها روی یک مسیر افقی حرکت می کنند و انرژی پتانسیل آنها تغییر نمی کند، می توان برای محاسبه ی انرژی پیش و پس از برخورد، انرژی جنبشی سره ها را با توجه به جرم و سرعت آنها محاسبه کرد. باید توجه کرد که انرژی های محاسبه شده در تمام قسمت ها بر حسب ژول است.

• برای آزمایش الف - جدول ۱

جدول ۲۳ - تغییرات انرژی برای جدول ۱

ردیف	انرژی جنبشی سره پیش از برخورد	انرژی جنبشی سره پس از برخورد	$\Delta E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$
1	0.074	0.034	54.1
2	0.073	0.034	53.4
3	0.070	0.034	51.4
4	0.081	0.036	55.6
5	0.073	0.034	53.4
6	0.071	0.034	52.1

همان طور که دیده می شود، اتلاف انرژی در این قسمت بسیار زیاد است (به طور میانگین 53.3%) و این به دلیل هدر رفتن انرژی به سبب نیروهای اصطکاک و گرمای آزاد شده هنگام برخورد است، و هرچه قدر کشتی که به عنوان ضربه گیر به انتهای سره وصل کردیم تا انرژی هدر نرود، خاصیت کشسانی بیشتری داشته باشد، اتلاف انرژی کمتر خواهد بود.

• برای آزمایش ب - جدول ۲

جدول ۲۴ - تغییرات انرژی برای جدول ۲

ردیف	انرژی جنبشی سره پیش از برخورد	انرژی جنبشی سره پس از برخورد	$\Delta E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$
1	0.080	0.045	44.0
2	0.065	0.042	35.5
3	0.072	0.043	39.6
4	0.078	0.045	42.2
5	0.073	0.041	43.4
6	0.074	0.040	45.7

در این حالت هم درصد اتلاف انرژی بسیار زیاد است (به طور میانگین 41.7%) که نشان دهنده ی اتلاف انرژی به صورت گرما و به دلیل نیروهای مقاوم است. البته دلیل دیگری که می توان برای آن متصور شد این است که فرض شده سره ی اول پس از برخورد ثابت می ماند و این به دلیل این است که فرض کرده ایم جرم سره ها برابر باشد، اما می دانیم اختلاف اندک جرم سره ها باعث می شود سره ی اول پس از برخورد سرعتی هرچه ناچیز داشته باشد که ما آن را در نظر نگرفتیم.

• برای آزمایش پ - جدول ۳

جدول ۲۵ - تغییرات انرژی برای جدول ۳

ردیف	انرژی جنبشی سره اول پیش از برخورد	انرژی کل پیش از برخورد	انرژی جنبشی سره اول پس از برخورد	انرژی جنبشی سره دوم پس از برخورد	انرژی کل پس از برخورد	$\Delta E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$
2	0.071	0.071	0.001	0.037	0.039	44.9
3	0.079	0.079	0.001	0.039	0.040	49.4
4	0.081	0.081	0.001	0.040	0.041	49.8
5	0.074	0.074	0.001	0.036	0.037	50.3
6	0.067	0.067	0.001	0.035	0.036	46.3

در این جدول به دلیل پرت بودن داده ی ردیف ۱، حذف شد. (چون با در نظر گرفتن آن قانون بقای انرژی نقض می شد!)

در این قسمت هم انرژی اتلاف بسیاری به دلیل نیروهای اتلافی به صورت گرما داشته است. (میانگین انرژی اتلافی 48.1% است.)

• برای آزمایش ت - جدول ۴

جدول ۲۶ - تغییرات انرژی برای جدول ۴

ردیف	انرژی جنبشی سره اول پیش از برخورد	مجموع انرژی پیش از برخورد	انرژی جنبشی سره ی اول پس از برخورد	انرژی جنبشی سره ی دوم پس از برخورد	مجموع انرژی پس از برخورد	$\Delta E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$
1	0.090	0.090	0.006	0.067	0.073	19.5
2	0.068	0.068	0.002	0.051	0.053	21.5
3	0.078	0.078	0.004	0.063	0.067	14.2
4	0.094	0.094	0.007	0.069	0.076	19.2
5	0.073	0.073	0.006	0.059	0.064	12.2
6	0.081	0.081	0.009	0.058	0.067	18.1

در این قسمت تغییرات انرژی به نسبت کمتر از بقیه است (به طور میانگین 17.4%) که این بیان کننده ی کشسان بودن برخورد با تقریب خوبی نسبت به بقیه ی آزمایش هاست. محاسبه ی ضریب بازگشت این قسمت که بسیار نزدیک به ۱ بود نیز تایید کننده ی این مطلب است. در هر صورت در این قسمت هم اتلاف انرژی به دلیل نیروهای مقاومتی و به صورت گرما وجود دارد.

• برای آزمایش ث - جدول ۵

جدول ۲۷ - تغییرات انرژی برای جدول ۵

ردیف	انرژی پیش از برخورد	انرژی پس از برخورد	$\Delta E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$
1	0.078	0.052	32.8
2	0.084	0.058	31.5
3	0.090	0.052	42.6
4	0.084	0.056	33.1
5	0.073	0.039	45.8
6	0.068	0.035	47.9

در این حالت اتلاف انرژی به طور میانگین 39% که نشان دهنده ی ناکشسان بودن برخورد است. می دانیم برخورد کاملاً ناکشسان که در این قسمت اتفاق می افتد، در بین انواع برخورد بیشترین اتلاف انرژی را دارد که این به خاطر اتلاف انرژی به صورت گرما در هنگام به هم چسبیدن دو جسم حاصل می شود. (خمیری که به وسیله ی آن چسبیدن دو سره را به هم باعث می شویم، کمی گرم می شود).