

### 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.

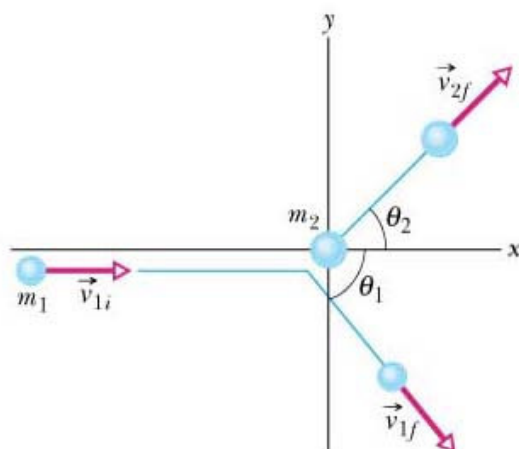
برای تعیین میزان کشسان بودن یک برخورد، معیاری به نام ضریب بازگشت برخورد (بین دو ذره) تعریف می شود که به صورت زیر تعریف می گردد:

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

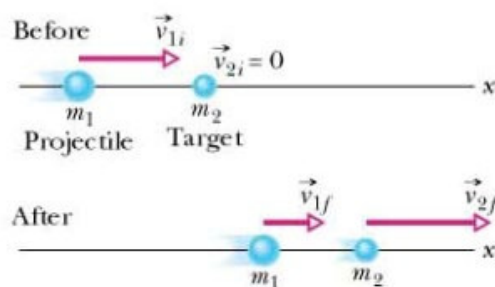
برای حالتی که برخورد کاملاً کشسان باشد، ضریب بازگشت ۱ و برای حالتی که برخورد کاملاً ناکشسان باشد، ضریب بازگشت برابر صفر می شود. (چون دو جسم به همدیگر می چسبند و سرعت نهایی آنها برابر شده در نتیجه صورت کسر صفر خواهد شد). هرچه ضریب بازگشت به

۱ نزدیکتر باشد، می‌گوییم برخورد خاصیت الاستیکی بیشتری دارد و هرچه به صفر نزدیک تر باشد، می‌توانیم خاصیت الاستیکی کمتری دارد یا غیر الاستیک تر است.

شکل ۱ شمای کلی یک برخورد در یک بعد را نشان می‌دهد. 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 ۱ - برخورد در یک بعد



شکل ۲ - برخورد در دو بعد

### 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 اول قبل از برخورد	زمان عبور از سنسور اول بعد از برخورد	زمان عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
1	73	78	287	281
2	64	67	395	349
3	65	69	421	349
4	63	66	258	247
5	71	76	285	277
6	73	77	251	244
				مجموع جرم سره و اتصالات روی آن: 227gr

جدول ۲		
ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	210	276
2	152	227
3	190	245
4	172	237
5	171	242
6	146	218
جرم سره دوم: 227gr		جرم سره اول: 227gr

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
1	136	248	1114
2	178	312	1013
3	138	255	1129
4	153	278	880
5	153	271	893
6	140	252	997
		جرم سره دوم: 327gr	جرم سره اول: 227gr

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
1	230	209	1424
2	286	190	1295
3	201	191	1336
4	199	184	1164
5	203	186	1703
6	203	188	1205
		جرم سره دوم: 227gr	جرم سره اول: 527gr

جدول ۵		
ردیف	زمان عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	زمان عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	181	573
2	191	584
3	142	471
4	184	462
5	151	479
6	171	533
		جرم سره اول: 227gr      جرم سره دوم: 327gr

خواسته ها

خواسته ی ۱:

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.

جدول ۱				
ردیف	سرعت عبور از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور از سنسور اول بعد از برخورد	سرعت عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.959	0.897	-0.244	-0.249
2	1.094	1.045	-0.177	-0.201
3	1.077	1.014	-0.166	-0.201
4	1.111	1.061	-0.271	-0.283
5	0.986	0.921	-0.246	-0.253
6	0.959	0.909	-0.279	-0.287
			مجموع جرم سره و اتصالات روی آن: 227gr	

جدول ۲		
ردیف	سرعت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.476	0.362
2	0.658	0.441
3	0.526	0.408
4	0.581	0.422
5	0.585	0.413
6	0.685	0.459
جرم سره دوم: 227gr		جرم سره اول: 227gr

جدول ۳			
ردیف	سرعت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	سرعت عبور سره اول از سنسور اول بعد از برخورد
1	0.735	0.403	-0.090
2	0.562	0.321	-0.099
3	0.725	0.392	-0.089
4	0.654	0.360	-0.114
5	0.654	0.369	-0.112
6	0.714	0.397	-0.100
		جرم سره دوم: 327gr	جرم سره اول: 227gr

جدول ۴			
ردیف	سرعت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	سرعت عبور سره اول از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.435	0.478	0.070
2	0.350	0.526	0.077
3	0.498	0.524	0.075
4	0.503	0.543	0.086
5	0.493	0.538	0.059
6	0.493	0.532	0.083
		جرم سره دوم: 227gr	جرم سره اول: 527gr

جدول ۵		
ردیف	سرعت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	سرعت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.552	0.175
2	0.524	0.171
3	0.704	0.212
4	0.543	0.216
5	0.662	0.209
6	0.585	0.188
		جرم سره اول: 227gr
		جرم سره دوم: 227gr

جدول ۱				
ردیف	اندازه حرکت عبور از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور از سنسور اول بعد از برخورد	اندازه حرکت عبور از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.218	0.204	-0.055	-0.057
2	0.248	0.237	-0.040	-0.046
3	0.244	0.230	-0.038	-0.046
4	0.252	0.241	-0.062	-0.064
5	0.224	0.209	-0.056	-0.057
6	0.218	0.206	-0.063	-0.065
			227gr	مجموع جرم سره و اتصالات روی آن:

جدول ۲		
ردیف	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.108	0.082
2	0.149	0.100
3	0.119	0.093
4	0.132	0.096
5	0.133	0.094
6	0.155	0.104
جرم سره دوم: 227gr		جرم سره اول: 227gr

جدول ۳			
ردیف	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور اول بعد از برخورد
1	0.167	0.092	-0.020
2	0.128	0.073	-0.022
3	0.164	0.089	-0.020
4	0.148	0.082	-0.026
5	0.148	0.084	-0.025
6	0.162	0.090	-0.023
جرم سره دوم: 327gr			جرم سره اول: 227gr



جدول ۴			
ردیف	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.229	0.109	0.037
2	0.184	0.119	0.041
3	0.262	0.119	0.039
4	0.265	0.123	0.045
5	0.260	0.122	0.031
6	0.260	0.121	0.044
		جرم سره دوم: 227gr	جرم سره اول: 527gr

جدول ۵		
ردیف	اندازه حرکت عبور سره اول از سنسور اول قبل از برخورد	اندازه حرکت عبور سره دوم از سنسور دوم بعد از برخورد
1	0.125	0.040
2	0.119	0.039
3	0.160	0.048
4	0.123	0.049
5	0.150	0.047
6	0.133	0.043
		جرم سره اول: 227gr
		جرم سره دوم: 227gr

جدول ۱	
ردیف	تغییر اندازه حرکت به درصد
1	126.6
2	117.7
3	117.5
4	125.5
5	126.1
6	130.3

#### جدول تغییرات اندازه حرکت:

در جدول ۱ مقدار در حالت ایده آل باید ۲۰۰ درصد می شد چون فقط جهت حرکت عوض شده است اما در جدول مقادیر در حدود ۱۶۴ درصد است که نشان دهنده ی کمتر شدن اندازه ی سرعت نسبت به حالت اولیه است که این خود نیز نشان دهنده ی وجود نیروهای خارجی مثل اصطکاک و مقاومت هوا است زیرا حتی مسیر هوایی را که به عنوان سطح بدون اصطکاک در نظر می گیریم دارای اندکی اصطکاک و شیب نسبت به سطح افق است.

$$\Delta P_{average} = 124$$

جدول ۲	
ردیف	تغییر اندازه حرکت به درصد
1	23.9
2	33.0
3	22.4
4	27.4
5	29.3
6	33.0

در جدول ۲ مقدار در حالت ایده آل باید ۰ درصد می شد چون نیروی خارجی نداریم اما محاسبات نشان دهنده ی تغییر تکانه است که ناشی از مواردی مثل اصطکاک ریل و مقاومت هوا است.

$$\Delta P_{average} = 28.4$$

جدول ۳	
ردیف	تغییر اندازه حرکت به درصد
1	57.4
2	60.5
3	58.1
4	62.4
5	60.7
6	58.5

جدول ۳ نیز مانند مانند جدول ۲ است با این توضیح که چون برخلاف جدول قبل چون بعد از برخورد هر دو جسم حرکت دارند اثر تغییر تکانه محسوس تر می شود البته با این توضیح که هر دو در عمل باید صفر باشند.

$$\Delta P_{average} = 59.6$$

جدول ۴	
ردیف	تغییر اندازه حرکت به درصد
1	36.4
2	13.1
3	39.6
4	36.3
5	41.1
6	36.6

این جدول نیز دارای توضیحات جدول قبل است اما چون جرم زیاد است و البته پیشرفت آزمایش گر نسبت به مراحل قبل خطا کم شده است.

$$\Delta P_{average} = 33.9$$

جدول ۵	
ردیف	تغییر اندازه حرکت به درصد
1	68.4
2	67.3
3	69.9
4	60.2
5	68.5
6	67.9

علت خطا در این بخش از آزمایش می تواند عواملی چون اصطکاک هوا و سطوح، ایجاد لرزش در هنگام برخورد که خود موجب وارد کردن نیرو در جهات مختلف بر روی جسم دوم می شود، باشد.

$$\Delta P_{average} = 67.0$$

جدول ۱	
ردیف	ضریب بازگشت
1	0.27
2	0.18
3	0.18
4	0.26
5	0.26
6	0.30
میانگین	0.24

جدول ۲	
ردیف	ضریب بازگشت
1	0.76
2	0.67
3	0.78
4	0.73
5	0.71
6	0.67
میانگین	0.72

جدول ۳	
ردیف	ضریب بازگشت
1	0.67
2	0.75
3	0.66
4	0.72
5	0.74
6	0.70
میانگین	0.71

جدول ۴	
ردیف	ضریب بازگشت
1	0.94
2	1.28
3	0.90
4	0.91
5	0.97
6	0.91
میانگین	0.99

جدول ۵	
ردیف	ضریب بازگشت
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
میانگین	0.00

در چهار جدول اول به دلیل کشسانی بودن برخورد ها ضرایب به ۱ نزدیک است در حالی که در آخرین آزمایش به علت چسبیدن دو جسم و دقیقاً برابر بودن سرعت این ضریب صفر است که در مجموع نشان دهنده ی عدم الاستیسیته کامل برخورد ها می باشد.

جدول ۱	
ردیف	درصد اختلاف انرژی جنبشی
1	92.9
2	96.9
3	96.9
4	93.5
5	93.2
6	90.8
میانگین	94.0

جدول ۲	
ردیف	درصد اختلاف انرژی جنبشی
1	42.1
2	55.2
3	39.9
4	47.3
5	50.1
6	55.1
میانگین	48.3

جدول ۳	
ردیف	درصد اختلاف انرژی جنبشی
1	68.4
2	64.4
3	69.2
4	66.7
5	65.2
6	67.2
میانگین	66.8

جدول ۴	
ردیف	درصد اختلاف انرژی جنبشی
1	45.2
2	2.5
3	50.0
4	46.7
5	47.3
6	46.9
میانگین	39.8

جدول ۵	
ردیف	درصد اختلاف انرژی جنبشی
1	80.0
2	78.6
3	81.8
4	68.3
5	80.1
6	79.4
میانگین	78.0

در جدول آخر به دلیل غیر کشسان بودن برخورد، پایداری انرژی وجود ندارد. به همین دلیل درصد اختلاف انرژی آن زیاد است. اما در جداول دیگر به دلیل برخورد سره ی اول با کشی که در پشت سره ی دوم قرار دارد (برای کشسان بودن برخورد) مقدار زیادی از انرژی جنبشی آن هدر می رود، و نمی توان آن را یک برخورد کامل دانست. از طرفی عواملی همچون اصطکاک هوا و سطوح نیز باعث هدر رفتن بخش قابل توجهی از انرژی جنبشی سره ها می شوند.

اما درباره ی اختلاف انرژی در جدول اول می توان به این مورد اشاره کرد که سره ی اول بعد از برخورد به سره ی دوم مقداری به تکیه گاه پشتی آن ضربه وارد می کرد و باعث

جابجایی هر چند اندک سره می شد. یکسان نبودن ضربه های وارده از طرف آزمایشگر به سره ی اول نیز می تواند از عوامل خطا باشد. از طرفی نباید عواملی همچون اصطکاک میان سطوح، مقاومت هوا، تبدیل بخشی از انرژی جنبشی به انرژی گرمایی در هنگام برخورد و همچنین طراز نبودن سطوح را فراموش کرد. به خصوص که طراز نبودن سطوح باعث شتابدار کردن حرکت سره ها می شود.