

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

5,6



Experimento 4: Colisão Bidimensional

Kaue de Sotti Silva

Matheus Dante Gonçalves

São Paulo

2020

Introdução

O experimento teve como objetivo o estudo de colisões bidimensionais entre dois corpos em movimento, visando analisar a variação de grandezas cinemáticas antes e depois da interação, o que possibilita classificar a colisão entre elástica, parcialmente elástica ou inelástica e verificar se ocorre o fenômeno de conservação de momento linear e conservação de energia cinética.

testar o arranjo?

O estudo é necessário, uma vez que em nosso dia a dia é incontável o quanto ocorre eventos desta natureza, por exemplo, o choque de duas moléculas de ar ou até mesmo a colisão entre dois veículos é um entre os muitos acontecimentos que podem ocorrer.

elástico?

Ao fazer este estudo, é necessário utilizar algumas teorias físicas. A mais importante delas, é a grandeza vetorial: quantidade de movimento linear, também chamada de momento linear, que nos diz o quanto de movimento tem um corpo. Esta grandeza geralmente é referida pela letra p , cujo modo de calcular encontra-se na equação (1).

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1)$$

A partir da definição de momento linear, podemos trabalhar com um princípio da cinemática, no qual se refere à conservação do mesmo em uma colisão, ou seja, após a colisão entre dois corpos que estavam em movimento, a soma dos momentos antes da colisão, também chamado de momento total inicial é igual ao momento total final (2).

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad (2)$$

É comum no estudo das colisões, analisar este evento no referencial do centro de massa, que é um ponto hipotético onde toda a massa do sistema estaria concentrada e toda força externa estaria aplicado neste ponto. Para calcular o centro de massa de um corpo, usamos as equações (3) e (4):

$$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} \quad (3) \quad e \quad y_{cm} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

A energia cinética de um corpo é a sua capacidade de realizar movimento, que pode ser calculado usando a fórmula (5):

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2} \quad (5)$$

Para calcular a Energia cinética de um sistema no referencial do centro de massa (6), usamos a velocidade do centro de massa e a velocidade de cada corpo no referencial de CM.

$$E_{tot} = \frac{(m_1 + m_2)v_{cm}^2}{2} + \frac{m_1v_1^{*2}}{2} + \frac{m_2v_2^{*2}}{2} \quad (6)$$

Sobre as classificações de colisões, existem três tipos, a elástica em que a energia cinética do sistema se conserva, ou seja, a energia cinética total inicial é igual à energia cinética total final; temos a colisão parcialmente elástica em que a energia cinética inicial é diferente

da energia cinética final que é menor e temos a colisão inelástica em que a energia cinética final é nula. Um dos objetivos do experimento é classificar o tipo de colisão que ocorre.

Descrição experimental

Para a realização do experimento, foram necessários dois discos de acrílico, o disco 1 de massa $36,776 \pm 0,001\text{g}$ e o disco 2 de massa $23,585 \pm 0,001\text{g}$. Estes dois discos foram colocados em uma mesa de ar, com o objetivo de minimizar o atrito entre os objetos e a superfície. Uma vez posicionados, sofreram um pequeno impulso para entrar em movimento e colidiram, enquanto uma filmadora, cujo tempo de diferença entre dois quadros é $0,0125\text{s}$, filmava o evento. Com os quadros da filmagem em mãos, foi feita a leitura dos dados de posição de cada pique para uma única origem fixa O e construídos os gráficos de posição e vetores de cada grandeza vetorial mencionada nas considerações teóricas.

480 quadros/s

como fez a leitura?

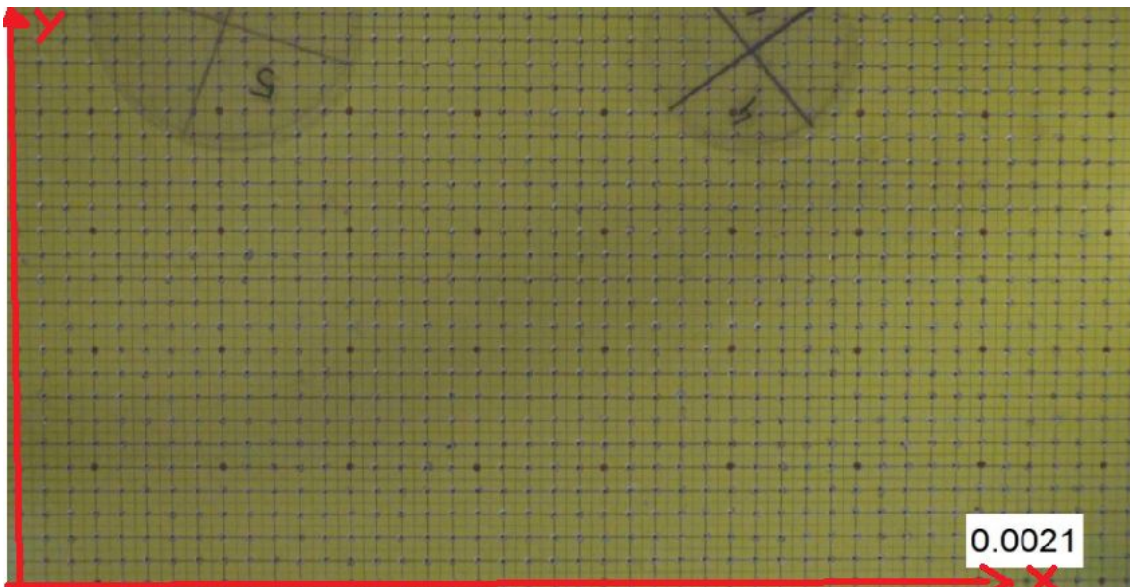


Figura 1: Orientação dos eixos xOy; cada ponto preto tem a distância de 1 cm e o ponto vermelho 5 cm. A incerteza de leitura de posição em X e Y é de 0,2 cm.

pq?

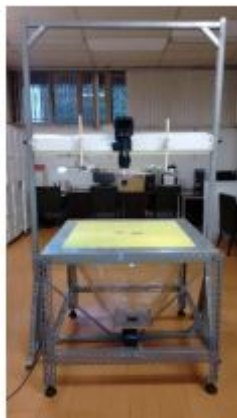


Figura 2: Arranjo experimental

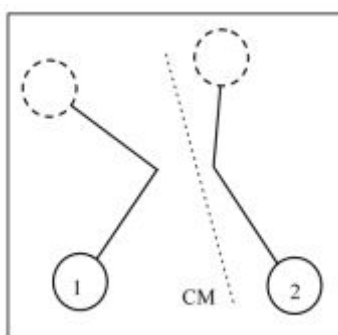


Figura 3: A trajetória da colisão e do centro de massa

Dados experimentais

Foram analisados dois conjuntos de dados, para o conjunto C1, obtivemos:

C1	puque 1		puque 2		Centro de massa			
Quadro	X1 (cm)	Y1 (cm)	X2 (cm)	Y2 (cm)	XCM (cm)	inc XCM	YCM (cm)	inc YCM
1	8,2	23,6	28,6	22,6	16,2	0,1	23,2	0,1
2	8,6	23,1	28,2	22,0	16,3	0,1	22,7	0,1
3	9,0	22,5	27,9	21,4	16,4	0,1	22,1	0,1
4	9,2	22,0	27,5	20,8	16,4	0,1	21,5	0,1
5	9,6	21,4	27,1	20,1	16,4	0,1	20,9	0,1
6	10,0	21,0	26,8	19,6	16,6	0,1	20,5	0,1
7	10,3	20,2	26,4	18,9	16,6	0,1	19,7	0,1
8	10,8	19,6	26,0	18,3	16,7	0,1	19,1	0,1
9	11,0	19,0	25,6	17,7	16,7	0,1	18,5	0,1
10	11,3	18,5	25,3	17,1	16,8	0,1	18,0	0,1
11	11,6	18,0	25,0	16,5	16,8	0,1	17,4	0,1
12	12,1	17,5	24,6	15,8	17,0	0,1	16,8	0,1
13	12,4	16,9	24,3	15,3	17,0	0,1	16,3	0,1
14	12,8	16,3	23,9	14,7	17,1	0,1	15,7	0,1
15	13,0	15,2	23,5	14,0	17,1	0,1	14,7	0,1
16	13,5	15,1	23,1	13,4	17,3	0,1	14,4	0,1
17	13,9	14,6	22,8	12,8	17,4	0,1	13,9	0,1
18	13,7	14,1	23,2	12,1	17,4	0,1	13,3	0,1
19	13,6	13,6	23,6	11,4	17,5	0,1	12,7	0,1
20	13,4	13,0	24,0	10,6	17,5	0,1	12,1	0,1
21	13,4	12,6	24,3	9,9	17,7	0,1	11,5	0,1
22	13,1	12,1	24,7	9,2	17,6	0,1	11,0	0,1
23	13,0	11,6	25,1	8,0	17,7	0,1	10,2	0,1
24	12,9	11,1	25,6	7,5	17,9	0,1	9,7	0,1

25	12,7	10,6	25,9	7,0	17,9	0,1	9,2	0,1
26	12,6	10,1	26,4	5,3	18,0	0,1	8,2	0,1
27	12,4	9,7	26,8	6,6	18,0	0,1	8,5	0,1
28	12,2	9,1	27,1	4,9	18,0	0,1	7,5	0,1
29	12,1	8,7	27,5	4,2	18,1	0,1	6,9	0,1
30	12,0	8,2	28,0	3,5	18,3	0,1	6,4	0,1
31	11,9	7,8	28,4	2,8	18,3	0,1	5,8	0,1
32	11,8	7,2	28,9	2,0	18,5	0,1	5,2	0,1
33	11,5	6,7	29,1	1,2	18,4	0,1	4,6	0,1
34	11,4	6,2	29,5	0,6	18,5	0,1	4,0	0,1

Tabela 1: Posições dos dois discos de acrílicos e as coordenadas do centro de massa calculado com a equação (3) e (4). A incerteza do CM foi obtida por meio do método de propagação de incertezas usando derivadas parciais. O valor da incerteza de CM ser menor que a da posição dos discos acontece devido a incerteza da massa, cujo valor é muito baixo.

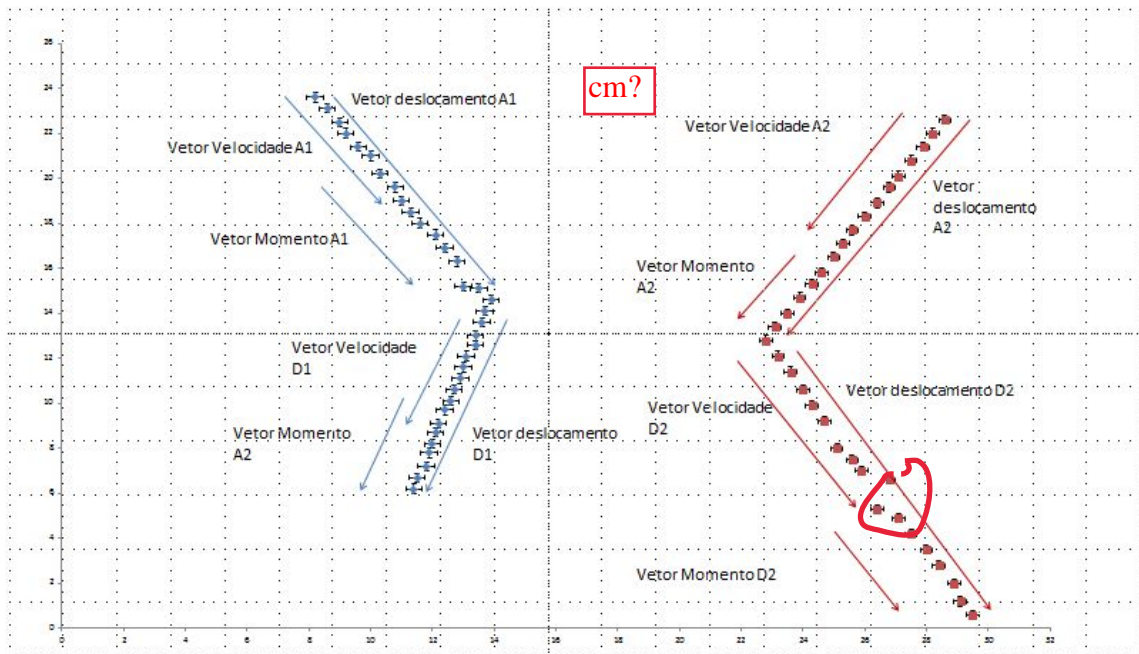


Gráfico 1: Gráfico representando a posição de cada partícula, assim como os vetores relacionados a ela, com módulo direção e sentido. Para o vetor Momento cada 1 cm corresponde a 400g.cm/s. Para o vetor velocidade cada 1 cm corresponde a 100 cm/s.

	Dr1 (cm)	inc	n intervalos	Dr2 (cm)	inc	n intervalos
antes	10,0	0,3	15	10,7	0,3	15
depois	8,2	0,3	16	13,1	0,3	16
	v1 (cm/s)	inc		v2 (cm/s)	inc	
antes	53	1		57	2	
depois	41	1		66	1	
	P1 (g cm/s)	inc		P2 (g cm/s)	inc	
antes	1965	55		1348	37	

dr foi medido ou calculado?

incerteza 1 sig...

depois	1513	51		1546	35
---------------	------	----	--	------	----

Tabela 2: Módulo dos vetores de cada disco.

	Drcm (cm)	in c	n intervalos
antes	10,0	0,1	15
depois	8,2	0,2	16
	vcm (cm/s)	in c	
antes	47	1	
depois	47	1	
	Pcm(g cm/s)	in c	
antes	2846	42	
depois	2827	48	

inconsistente...

Tabela 3: Módulo dos vetores do centro de massa.

Referencial lab						
C1						
	E1 (cgs)	inc	E2 (cgs)	inc	Etot (cgs)	inc
antes	52481	2934	38538	2139	91019	3631
depois	31122	2118	50690	2298	81812	3125

Tabela 4: Energia Cinética no referencial do laboratório.

v1*(cm/s)	in c	v2*(cm/s)	in c
6	2	-21	2
-18	2	32	2
P1*(g cm/s)	in c	P2*(g cm/s)	in c
209	69	-497	56
-674	70	750	60

Tabela 5: Módulo dos Vetores de cada corpo no referencial do centro de massa.

	Ecm (cgs)	inc	E1* (cgs)	inc	E2* (cgs)	inc	Etot (cgs)	inc
antes	67082	2227	592	344	5242	862	72916	2441
depois	66199	1979	6171	1085	11922	1265	84292	2587

Tabela 6: Energia Cinética no referencial do Centro de Massa.

Todas as incertezas foram obtidas por meio de método de propagação de incertezas por derivadas parciais.

Para o conjunto C2, obtemos os seguintes resultados:

C2	puque 1		puque 2		Centro de massa			
	Quadro	X1 (cm)	Y1 (cm)	X2 (cm)	Y2 (cm)	XCM (cm)	inc XCM	YCM (cm)
1	8,2	23,6	28,6	22,5	16,2	0,1	23,2	0,1
2	8,7	23,0	28,2	21,9	16,3	0,1	22,6	0,1
3	9,0	22,4	27,8	21,3	16,3	0,1	22,0	0,1
4	9,4	21,9	22,4	20,6	14,5	0,1	21,4	0,1
5	9,7	21,4	27,1	20,1	16,5	0,1	20,9	0,1
6	10,0	20,8	26,7	19,4	16,5	0,1	20,3	0,1
7	10,4	20,1	26,3	18,8	16,6	0,1	19,6	0,1
8	10,8	19,5	26,0	18,2	16,7	0,1	19,0	0,1
9	11,0	19,0	25,5	17,6	16,7	0,1	18,5	0,1
10	11,4	18,5	25,3	17,0	16,8	0,1	17,9	0,1
11	11,8	17,9	24,8	16,3	16,9	0,1	17,3	0,1
12	12,1	17,3	24,5	15,8	16,9	0,1	16,7	0,1
13	12,5	16,7	24,2	14,2	17,1	0,1	15,7	0,1
14	12,9	16,2	23,8	14,5	17,2	0,1	15,5	0,1
15	13,3	15,6	23,4	13,9	17,2	0,1	14,9	0,1
16	13,5	15,0	23,0	13,2	17,2	0,1	14,3	0,1
17	13,8	14,4	22,7	12,6	17,3	0,1	13,7	0,1
18	13,7	14,0	23,1	11,9	17,4	0,1	13,2	0,1
19	13,5	13,5	23,6	11,2	17,4	0,1	12,6	0,1
20	13,4	13,0	24,0	10,5	17,5	0,1	12,0	0,1
21	13,3	12,5	24,5	9,7	17,7	0,1	11,4	0,1
22	13,1	12,0	24,8	9,0	17,7	0,1	10,8	0,1
23	13,0	11,5	25,2	8,3	17,8	0,1	10,2	0,1
24	12,8	11,0	25,6	7,6	17,8	0,1	9,7	0,1
25	12,7	10,5	26,0	6,8	17,9	0,1	9,1	0,1
26	12,5	10,0	26,4	6,1	17,9	0,1	8,5	0,1
27	12,4	9,5	26,9	5,5	18,1	0,1	7,9	0,1
28	12,2	9,0	27,2	4,8	18,1	0,1	7,4	0,1
29	12,1	8,5	27,5	4,0	18,1	0,1	6,7	0,1
30	12,0	8,0	28,0	2,3	18,3	0,1	5,8	0,1
31	11,8	7,5	33,5	2,6	20,3	0,1	5,6	0,1
32	11,6	7,0	28,9	2,0	18,4	0,1	5,0	0,1
33	11,5	6,5	29,2	1,1	18,4	0,1	4,4	0,1
34	11,4	6,0	29,6	0,5	18,5	0,1	3,9	0,1

Tabela 7: Posições dos dois discos de acrílicos e as coordenadas do centro de massa do sistema calculado com a equação (3) e (4). A incerteza do CM foi obtida por meio do método de propagação de incertezas usando derivadas

parciais. O valor da incerteza de CM ser menor que a da posição dos discos acontece devido a incerteza da massa, cujo valor é muito baixo.

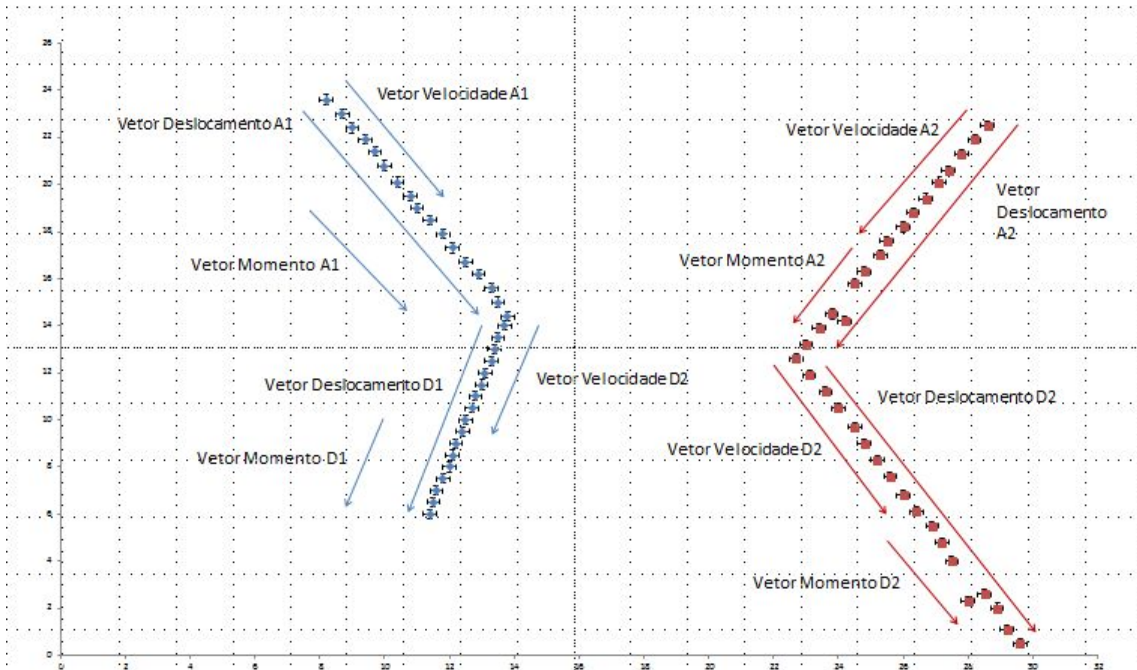


Gráfico 2: Gráfico representando a posição de cada partícula, assim como os vetores relacionados a ela, com módulo direção e sentido. Para o vetor Momento cada 1 cm corresponde a 400g.cm/s. Para o vetor velocidade cada 1 cm corresponde a 100 cm/s.

	Dr1 (cm)	inc	n intervalos	Dr2 (cm)	inc	n intervalos
antes	10,1	0,3	15	10,9	0,3	15
depois	8,3	0,3	16	13,1	0,3	16
	v1 (cm/s)	inc		v2 (cm/s)	inc	
antes	54	2		58	2	
depois	42	2		66	1	
	P1 (g cm/s)	inc		P2 (g cm/s)	inc	
antes	1981	59		1366	37	
depois	1531	55		1548	35	

Tabela 8: Módulo dos vetores de cada disco

	Drcm (cm)	inc	n intervalos
antes	8,9	0,1	15
depois	9,4	0,1	16
	vcm (cm/s)	inc	
antes	48	1	
depois	47	1	

gostaria que vc apresentasse as fórmulas que usou na incerteza..

momento total antes e depois?

	Pcm(g cm/s)	inc
antes	2876	48
depois	2836	45

Tabela 9: Módulo dos vetores do centro de massa

Referencial lab						
C2						
	E1 (cgs)	inc	E2 (cgs)	inc	Etot (cgs)	inc
antes	53376	1786	39531	2165	92906	2806
depois	31853	1002	50770	2300	82622	2508

Tabela 10: Energia cinética no referencial do laboratório.

v1*(cm/s)	inc	v2*(cm/s)	inc
6	2	-21	2
-19	2	33	2
P1*(cm g/s)	inc	P2*(cm g/s)	inc
211	65	-502	42
-700	61	769	39

Tabela 11: Módulo dos Vetores de cada corpo no referencial do centro de massa.

	Ecm (cgs)	inc	E1* (cgs)	inc	E2* (cgs)	inc	Etot (cgs)	inc
antes	68525	2293	606	376	5343	891	74474	2488
depois	66636	2092	6662	1171	12524	1276	85822	2719

Tabela 12: Energia cinética no referencial do Centro de Massa.

Discussão

Diante os resultados obtidos, é possível concluir que nas duas situações, ao analisar a colisão no referencial do laboratório, temos que a energia não se conserva, uma vez que a energia cinética inicial é maior que a energia cinética final, configurando que o sistema se trata de uma colisão parcialmente elástica.

Se fizermos uma análise no referencial do centro de massa, nos deparamos com a energia cinética final maior que a inicial, o que não é possível acontecer neste caso, uma vez que o sistema está isolado e a energia deveria se conservar ou se dissipar. Uma possível explicação para este fenômeno pode ser devido imperfeições do arranjo e atrito com a placa de ar e por mais que as medidas sejam incompatíveis, pelo teste Z, ela tem grau 4, mostrando que ainda sim, elas são próximas.

Ao olharmos os dados sobre a quantidade de movimento das duas situações, veremos que em nenhum dos casos de análise individual, os momentos lineares dos puques se conservam, a não ser o momento do centro de massa, no qual é igual antes e depois da colisão. Mostrando que o momento do CM é sempre constante.

vc não calculou o momento total...

Outra análise interessante a se fazer, é se a soma dos momentos individuais é igual ao momento do centro de massa. Para a situação C1, a soma dos momentos individuais é incompatível com o centro de massa em um grau 6 do teste Z. No entanto, após a colisão, as medidas são compatíveis em um grau 3.