

Universidade de Brasília - UnB Gama

Relatório de Física 1 Experimental

Experimento 5 - Conservação do momento e colisões

Por

Felipe Amorim de Araújo - Matrícula : 221022275

Fernando Gabriel dos Santos Carrijo - Matrícula: 221008033

João Vitor Santos de Oliveira - Matrícula : 221022337

Gustavo Emannel Pereira Sousa - Matrícula : 221031176

Brasília-DF, 31 de janeiro de 2023

1 Objetivos

O experimento realizado em laboratório teve como objetivo demonstrar e analisar o comportamento de colisões entre dois carrinhos sobre um trilho de ar, além de observar a conservação da energia cinética e do momento linear. O experimento foi dividido em duas partes, uma com colisões elásticas (em que o momento linear e a energia cinética são conservados) e a outra com colisões inelásticas (em que apenas o momento linear é conservado). Em ambos experimentos o atrito e ações de forças externas foram ignoradas para obtenção dos resultados, e os resultados obtidos experimentalmente foram comparados com os resultados obtidos de forma teórica.

2 Introdução Teórica

No mundo físico, constantemente objetos e partículas interagem de diversas maneiras, exercendo forças sobre umas as outras, essas interações envolvem forças de diversos tipos e também energia. Um desses tipos de interações são as colisões.

Os fenômenos de colisões acontecem a todo tempo na natureza, envolvendo de pequenas partículas até grandes objetos. As colisões geralmente envolvem dois tipos de grandezas: momento e energia cinética, a interação dessas grandezas acontecem de maneiras diferentes de acordo com as diferentes características das colisões em que estão relacionadas. Para compreender as interações decorrentes durante colisões, precisamos definir os conceitos de momento e energia cinética.

2.1 Momento ou momento linear

O momento ou momento linear de uma partícula é uma descrição de seu estado inercial, dada pela relação entre sua massa e a sua velocidade. O momento é definido pelo produto entre a massa m de uma partícula e sua velocidade \vec{v} , sua equação é a seguinte:

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

O momento apresenta módulo direção e sentido que coincidem com a do vetor velocidade, portanto também é uma grandeza vetorial, pois resulta do produto entre uma grandeza escalar (a massa) e uma grandeza vetorial (velocidade). A unidade do momento linear é, no SI, kgm/s, ou no CGS, gcm/s.

Outra forma de definir o momento linear é pela definição da segunda lei de Newton:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a} \quad (2)$$

Como sabemos que $\vec{a} = d\vec{v}/dt$, podemos reescrever a segunda lei de Newton como:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

Portanto, podemos definir a força resultante atuante em uma partícula como a derivada em relação ao tempo do momento dessa partícula:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

2.2 Trabalho e energia cinética

O trabalho é definido pela relação entre o deslocamento em linha reta de um corpo e uma força que atua sobre o mesmo. O trabalho realizado por uma força \vec{F} constante em um deslocamento $\Delta\vec{r}$ é definido pelo produto escalar entre essas duas grandezas:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r}$$

Pela definição de produto escalar temos:

$$W = |\vec{F}| |\Delta\vec{r}| \cos \phi \quad (3)$$

O trabalho é uma grandeza escalar, pois resulta do produto escalar entre duas grandezas vetoriais, sua unidade no SI é o $N \times m$ ou J (Joule), no CGS é o gm^2/s^2 ou erg.

Em qualquer eixo (por exemplo no eixo x), o trabalho realizado pela componente da força naquele eixo pode ser definido como:

$$W_x = \vec{F}_x \Delta x$$

A segunda lei de Newton (2), define a força como o produto entre massa de um corpo e a sua aceleração. No MRUV (Movimento Retilíneo Uniforme), a equação de Torricelli pode ser usada para encontrar grandezas de movimento sem depender do tempo:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad (4)$$

Ao isolarmos a aceleração na equação (4) é possível substituir-lá na segunda lei de Newton (2), obtendo-se a seguinte expressão:

$$\vec{F}_x \Delta x = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

Portanto, podemos definir o trabalho total em relação a variação da velocidade de um objeto como:

$$W_{tot} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \quad (5)$$

2.2.1 Teorema do trabalho-energia

O teorema do trabalho-energia define que o trabalho total realizado sobre uma partícula é igual a variação de sua energia cinética (5). Essa relação é válida para forças constantes e variáveis e para qualquer tipo de deslocamento em qualquer eixo:

$$W_{tot} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$
$$W_{tot} = K_1 - K_0 = \Delta K \quad (6)$$

Portanto, definimos como energia cinética de uma partícula a letra K , dada pela seguinte expressão, válida para qualquer eixo de movimento:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

2.3 Colisões

Uma colisão pode ser definida como qualquer interação entre dois corpos em um tempo relativamente curto.

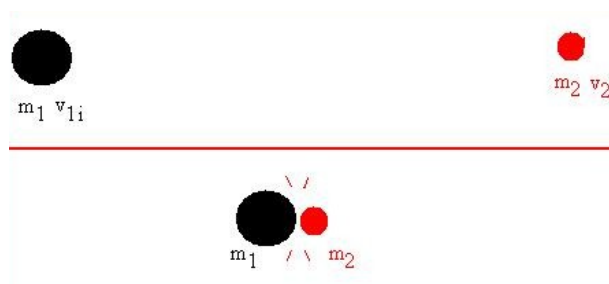


Figura 1: Representação de uma colisão

Na maioria dos casos, as forças exercidas entre os corpos colidindo é muito maior que as forças externas agindo sobre eles. Sabemos que, se a ação de forças externas em uma colisão puder ser desprezada, poderemos considerar o sistema de colisão um sistema isolado. Em casos assim, a soma dos momentos lineares iniciais dos corpos antes da colisão será igual a soma dos momentos lineares finais após a colisão:

$$\sum \vec{p}_0 = \sum \vec{p}_f$$

Podemos portanto dizer que, em colisões em sistemas isolados, há conservação de momento linear.

2.3.1 Colisões elásticas

As colisões denominadas elásticas tem como principal característica a conservação do momento e energia cinética inicial dos corpos envolvidos após a colisão. Após esse tipo

de colisão, a velocidade entre as partículas que colidiram muda de direção, porém as velocidades relativas entre as mesmas permanece a mesma.

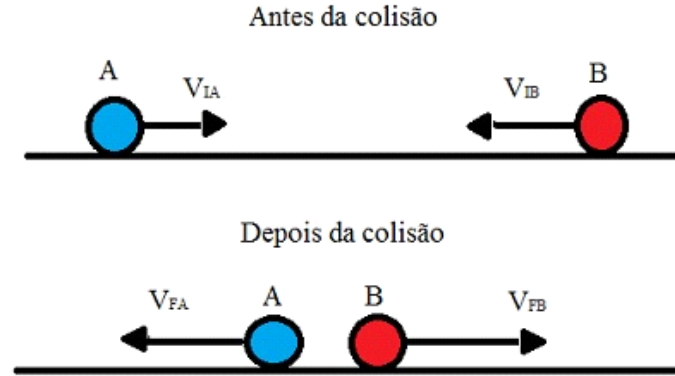


Figura 2: Colisão elástica

Podemos calcular os momentos iniciais e finais da colisão considerando as massas e velocidades de A e B. O momento inicial será a soma dos momentos iniciais de cada partícula:

$$P_i = m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi}$$

Se considerarmos uma colisão em que B está em repouso, ou seja, $v_{Bi} = 0$, obtemos a seguinte expressão para o momento inicial total do sistema:

$$P_i = m_A v_{Ai} \quad (8)$$

O momento final será a soma dos momentos finais de cada partícula, considerando suas massas e velocidades finais após a colisão:

$$P_f = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf} \quad (9)$$

Em colisões elásticas, há a conservação do momento linear, ou seja, o momento final do sistema será igual ao momento inicial. Sabendo disso, podemos obter a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} P_i &= P_f \\ m_A v_{Ai} &= m_A v_{Af} + m_B v_{Bf} \end{aligned} \quad (10)$$

A energia cinética inicial do sistema, assim como o momento, será a soma das energias cinéticas iniciais das partículas A e B. Considerando $v_{Bi} = 0$, teremos que a energia cinética inicial K_i será dada pela equação:

$$K_i = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 \quad (11)$$

A energia cinética final, será a soma das energias cinéticas finais das duas partículas após a colisão. É dada pela equação:

$$K_f = \frac{1}{2}m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2}m_B v_{Bf}^2 \quad (12)$$

Como já definido, em uma colisão elástica, teremos também a conservação da energia cinética durante a colisão, ou seja, teremos que a energia cinética final será igual a energia cinética inicial. A partir disso podemos definir as expressões à seguir:

$$\begin{aligned} K_i &= K_f \\ \frac{1}{2}m_A v_{Ai}^2 &= \frac{1}{2}m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2}m_B v_{Bf}^2 \\ m_A v_{Ai}^2 &= m_A v_{Af}^2 + m_B v_{Bf}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

Resolvendo o sistema formado pelas equações (10) e (13), conseguimos isolar as velocidades finais de ambas as partículas v_{Af} e v_{Bf} em termos da velocidade inicial da partícula A v_{Ai} .

$$v_{Af} = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_{Ai} \quad (14)$$

$$v_{Bf} = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_{Ai} \quad (15)$$

Portanto, podemos descobrir a velocidade final das duas partículas do sistema apenas pela velocidade inicial da partícula A.

2.3.2 Colisões completamente inelásticas

Uma colisão inelástica é caracterizada pela conservação do momento e perda de energia cinética na colisão, ou seja, a energia cinética não é conservada. Numa colisão inelástica a energia pode ser dissipada de diversas maneiras, uma delas por transformação da energia cinética em energia térmica, ocasionando o aumento da temperatura dos objetos que colidiram. Temos por essas características que:

$$\begin{aligned} P_i &= P_f \\ K_i &\neq K_f \end{aligned}$$

Em colisões totalmente inelásticas, há dissipação máxima de energia cinética. Após esse tipo de colisão, os objetos seguem unidos como se fossem um único corpo com massa igual à soma das massas antes do choque e mesma velocidade final.

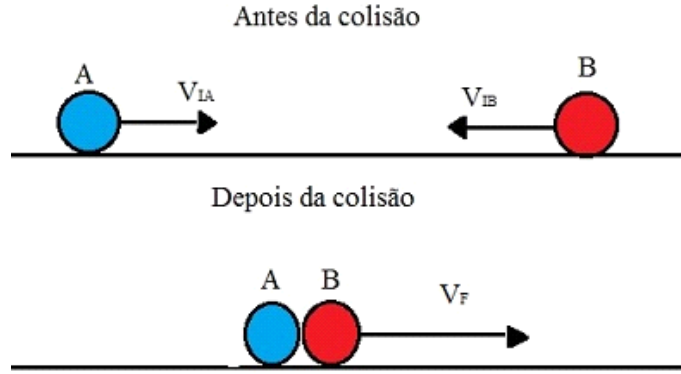


Figura 3: Colisão totalmente inelástica

Na colisão inelástica entre dois objetos A e B podemos obter a seguinte relação para as velocidades finais dos objetos:

$$v_f = v_{Af} = v_{Bf}$$

Se considerarmos o objeto B inicialmente em repouso, ou seja, $v_{Bi} = 0$, podemos obter as seguintes expressões para os momentos, velocidades e energias cinéticas iniciais e finais:

Teremos que o momento inicial pode ser calculado de forma similar ao sistema anterior, pela soma dos momentos iniciais das duas partículas. Como $v_{Bi} = 0$, o momento inicial da partícula B será nulo, portanto podemos usar a equação (8)

$$P_i = m_A v_{Ai}$$

O momento final será calculado a partir da soma das massas das duas partículas, multiplicada pela velocidade final adquirida pelas mesmas após a colisão:

$$P_f = (m_A + m_B) v_{ABf} \quad (16)$$

Como existe conservação do momento, teremos a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} P_i &= P_f \\ m_A v_{Ai} &= (m_A + m_B) v_{ABf} \end{aligned}$$

Se isolarmos a velocidade final v_{ABf} , obteremos a seguinte equação para a velocidade final do sistema:

$$v_{ABf} = \frac{m_A}{m_A + m_B} v_{Ai} \quad (17)$$

A energia cinética inicial antes da colisão, é calculada pela soma das energias cinéticas iniciais das partículas. Como $v_{Bi} = 0$ podemos usar a equação (11):

$$K_i = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2$$

A energia cinética final, é calculada considerando a soma das massas A e B e a velocidade final v_{ABf} após a colisão, sua equação é dada por:

$$K_f = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v_{ABf}^2 \quad (18)$$

Como já explicado anteriormente, em uma colisão inelástica, há perda ou dissipação de parte da energia cinética, ou seja, a energia cinética final será menor que a energia cinética inicial ($K_f < K_i$). Podemos calcular Q , que representa essa perda total de energia, pela subtração da energia cinética final pela inicial:

$$Q = K_f - K_i \quad (19)$$

A razão entre a energia cinética final e a inicial também resulta em outra expressão útil, dada pela equação à seguir:

$$\frac{K_f}{K_i} = \frac{m_A}{m_A + m_B} \quad (20)$$

A razão entre as energias cinéticas inicial e final se relaciona com a razão entre a massa da partícula A e a soma das massas das duas partículas.

3 Parte Experimental e Discussão

Neste experimento, foram analisados dois fenômenos físicos envolvendo colisões: colisões elásticas e colisões totalmente inelásticas. Foram montados dois diferentes sistemas de colisões, afim de representar cada um dos fenômenos, cada sistema foi montado com suas próprias características utilizando o kit de trilho ar e os carrinhos e equipamentos disponíveis. Os dados experimentalmente obtidos foram analisados a partir da montagem de tabelas, cálculo de médias, análise e cálculo de erros aleatórios, experimentais e relativos. E além disso, os dados experimentais calculados foram comparados com os dados teóricos esperados, obtidos com as equações que descrevem fisicamente os fenômenos discutidas anteriormente.

3.1 Material utilizado

- kit de trilho ar;
- barbante;
- massa de 50g;
- 04 massas de 20g;
- 02 massas de 10g;
- régua;
- 02 peças com elásticos;

- pino com agulha;
- pino com massa aderente.

3.2 Colisão elástica

Na primeira parte do experimento, os dois carrinhos foram posicionados no trilho com uma peça incluindo um elástico na região frontal de ambos, além disso duas bandeiras de 10 cm foram colocados na parte superior dos dois carrinhos. Os dois sensores do trilho foram utilizados, o primeiro foi posicionado a uma certa distância fixa do primeiro carrinho, e o segundo a uma distância fixa do segundo. Assim como representado na figura 4:

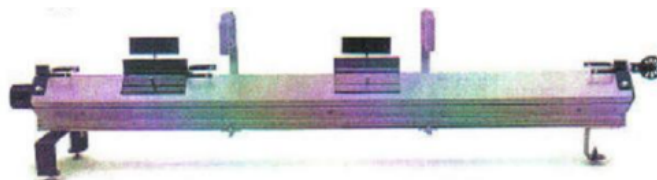


Figura 4: Sistema para colisão elástica

O dois sensores foram configurados para detectar a passagem das bandeiras de cada carrinho e medir o intervalo de tempo que demorava para a bandeira passar inteiramente pelo sensor. Um barbante preso a um peso foi amarrado ao primeiro carrinho, quando o carrinho era liberado, o peso caía uma certa distância até parar, fazendo o carrinho entrar em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU).

No carrinho B foram adicionados 100 g de massa extra com pesos nas hastes laterais. A massa de ambos os carrinhos foi medida em uma balança com erro instrumental de 0,5 g

Massa do carrinho A (g)	Massa do carrinho B (g)
$(236,5 \pm 0,5)$ g	$(329,5 \pm 0,5)$ g

Tabela 1: Massas dos carrinhos

Por fim, o experimento de colisão foi realizado e repetido 5 vezes, sempre colocando os carrinhos nas mesmas posições. Os dados dos intervalos de tempo obtidos e suas médias estão na tabela 2:

Instantes de tempo Δt_1 (s)	Intervalos de tempo Δt_2 (s)
0,138 s	0,180 s
0,139 s	0,180 s
0,137 s	0,179 s
0,138 s	0,180 s
0,139 s	0,180 s
Tempo médio Δt_1	Tempo médio Δt_2
0,138 s	0,180 s

Tabela 2: Intervalos de tempo e suas médias

Os intervalos Δt_1 representam os intervalos de tempo que a bandeira do carrinho A demorou para passar pelo sensor 1, e os intervalos Δt_2 representam o mesmo só que para a bandeira do carrinho B passando pelo sensor 2.

Calculando os erros aleatórios e considerando o erro instrumental de 0,001 s do cronômetro utilizado, obtemos:

$$\Delta t_1 = (0,139 \pm 0,001) \text{ s}$$

$$\Delta t_2 = (0,180 \pm 0,001) \text{ s}$$

Com os intervalos obtidos, podemos calcular a velocidade inicial do carrinho A a partir da equação:

$$v = \frac{10 \text{ cm}}{\Delta t} \quad (21)$$

Obtemos:

$$v_{Ai} = (72,36 \pm 1,08) \text{ cm/s}$$

Igualmente podemos calcular a velocidade final do carrinho B:

$$v_{Bf} = (55,62 \pm 0,65) \text{ cm/s}$$

A velocidade final do carrinho A pode ser obtida teoricamente usando a equação (14):

$$v_{Af} = (-11,89 \pm 0,07) \text{ cm/s}$$

Podemos também a partir da velocidade inicial do carrinho A, obter a velocidade final teórica do carrinho B, usando a equação (15):

$$v_{Bf} = (60,47 \pm 1,14) \text{ cm/s}$$

Como podemos observar, a velocidade final do carrinho B obtida experimentalmente, se difere da velocidade obtida teoricamente, podemos calcular o erro relativo entre as duas com a equação:

$$E = \frac{|A - B|}{A} \quad (22)$$

Obtemos em termos percentuais:

$$E = 8,02\%$$

O momento inicial do sistema pode ser calculado usando a equação (8), considerando a velocidade inicial do carrinho B nula, $v_{Bi} = 0$:

$$P_i = (17112,88 \pm 291,90) \text{ gcm/s}$$

O momento final pode ser calculado pela equação (9), consideramos a velocidade final do carrinho B v_{Bf} obtida experimentalmente:

$$P_f = (15514,88 \pm 252,55) \text{ gcm/s}$$

O erro relativo entre o momento inicial e o momento final, calculado pela equação (22) foi em termos percentuais:

$$E = 9,34\%$$

As energias cinéticas iniciais e finais para o sistema foram calculadas usando as equações (11) e (12) respectivamente, os resultados obtidos foram:

$$K_i = (619134,58 \pm 19812,80) \text{ ergs}$$

$$K_f = (526334,96 \pm 12906,50) \text{ ergs}$$

O erro relativo entre as energias cinéticas foi de:

$$E = 14,99\%$$

3.3 Colisão completamente inelástica

Na segunda parte do experimento, os carrinhos e sensores foram posicionados de forma semelhante à parte anterior, porém foram removidos todos os pesos, exceto o peso preso ao barbante, e foram removidas as peças com elásticos dos carrinhos. No lugar das peças com elásticos, no carrinho A foi colocado um pino com uma agulha e no carrinho B um pino com uma massa aderente, assim como representado na figura à seguir:

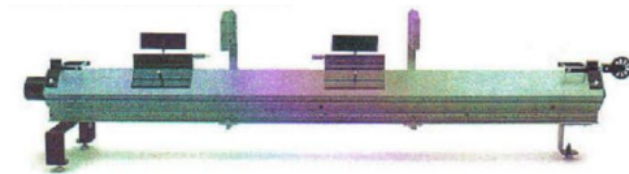


Figura 5: Sistema para colisão inelástica

Dessa forma, ao ser liberado carrinho A iria colidir e se aderir ao carrinho B, de forma que os dois teriam a mesma velocidade final, simulando uma colisão inelástica.

As massas dos carrinhos medidas, estão na tabela 3:

Massa do carrinho A (g)	Massa do carrinho B (g)
$(226,0 \pm 0,5) \text{ g}$	$(221,0 \pm 0,5) \text{ g}$

Tabela 3: Massas dos carrinhos

O experimento de colisão foi realizado e repetido 5 vezes, os intervalos de tempo obtidos estão na tabela 4 à seguir

4	Instantes de tempo Δt_1 (s)	Intervalos de tempo Δt_2 (s)
	0,131 s	0,284 s
	0,131 s	0,282 s
	0,131 s	0,285 s
	0,131 s	0,287 s
	0,131 s	0,287 s
	Tempo médio Δt_1	Tempo médio Δt_2
	0,131 s	0,285 s

Tabela 4: Intervalos de tempo e suas médias

Considerando os erros aleatórios e os erros instrumentais obtemos:

$$\Delta t_1 = (0,131 \pm 0,001) \text{ s}$$

$$\Delta t_2 = (0,285 \pm 0,002) \text{ s}$$

Com os intervalos podemos obter a velocidade inicial v_{Ai} do carrinho A e a velocidade final v_{Bf} do carrinho B que também pode ser considerada a velocidade final do sistema, usando a equação (21):

$$V_{Ai} = (76,34 \pm 0,96) \text{ cm/s}$$

$$V_{Bf} = (35,09 \pm 0,42) \text{ cm/s}$$

A partir da velocidade inicial v_{Ai} do carrinho A, podemos obter a velocidade final teórica do sistema, usando a equação (17):

$$V_{ABf} = (38,59 \pm 0,66) \text{ cm/s}$$

Calculando o erro relativo entre a velocidade final experimental e a teórica do sistema, obtemos uma discrepância de:

$$E = 9,09\%$$

O momento inicial do sistema, pode ser calculado pela equação (8), considerando $v_{Bi} = 0$:

$$P_i = (17251,91 \pm 256,12) \text{ gcm/s}$$

O final, foi obtido pela equação (16), considerando a v_{ABf} encontrada experimentalmente:

$$P_f = (15684,21 \pm 220,75) \text{ gcm/s}$$

O erro relativo entre o momento inicial e o momento final foi:

$$E = 9,09\%$$

As energias cinéticas inicial e final do sistema podem ser calculadas a partir das equações (11) e (18) respectivamente, os valores obtidos foram:

$$K_i = (658469,79 \pm 9047,23) \text{ ergs}$$

$$K_f = (275161,59 \pm 3565,01) \text{ ergs}$$

A perda de energia cinética na colisão é calculada pela equação (19), com os dados das energias cinéticas inicial e final obtidas, a perda de energia cinética calculada foi:

$$Q = (-383308,20 \pm 12612,24) \text{ ergs}$$

A equação (20) mostra uma relação entre a razão das energias cinéticas final e inicial e entre as massas dos carrinhos A e B, calculando essa razão com os dados obtidos no sistema atual, obtemos:

$$\frac{k_f}{k_i} = 0,418$$

$$\frac{m_A}{m_A + m_B} = 0,506$$

4 Conclusão

No experimento, analisamos dois sistemas de colisões diferentes, foi possível obter dados dos intervalos de tempo, velocidades iniciais e finais, além dos momentos e energias iniciais e finais. Obtivemos dados experimentais e também teóricos afim de compará-los e verificar a precisão dos dados obtidos com aqueles que são esperados.

O primeiro sistema envolveu uma colisão elástica entre os dois carrinhos, nesse tipo de colisão o momento e a energia cinética são conservados, ou seja, seus valores iniciais são idênticos aos seus valores finais.

O experimento realizado apresentou os seguintes dados de momento inicial e final calculados:

$$P_i = (17112, 88 \pm 291, 90) \text{ gcm/s}$$

$$P_f = (15514, 88 \pm 252, 55) \text{ gcm/s}$$

É possível observar que houve uma significativa discrepância dos valores de momento inicial e final encontrados experimentalmente, essa discrepância foi calculada pelo cálculo do erro relativo:

$$E = 9,34\%$$

Além disso foram obtidas as energias cinéticas iniciais e finais:

$$K_i = (619134, 58 \pm 19812, 80) \text{ ergs}$$

$$K_f = (526334, 96 \pm 12906, 50) \text{ ergs}$$

O erro relativo entre os valores inicial e final também foi calculado:

$$E = 14,99\%$$

Podemos concluir pelos resultados, que houve significativa perda de momento e energia cinética, 9,34% de perda de momento e 14,99% de perda de energia cinética, ou seja, não houve uma conservação completa nem de momento, nem de energia cinética na colisão. Essa discrepância pode ser explicada pela dificuldade em montar um sistema em que há conservação de momento e energia perfeita e, além disso, a qualidade dos materiais utilizados no experimento que pode ter afetado de forma significativa o resultado.

No segundo sistema, os carrinhos foram montados afim de representar uma colisão totalmente inelástica, nesse tipo de colisão apenas o momento é conservado, ou seja o momento inicial é o mesmo do final, porém há perda de energia cinética na colisão.

Neste experimento, os dados de momento inicial e final obtidos foram:

$$P_i = (17251, 91 \pm 256, 12) \text{ gcm/s}$$

$$P_f = (15684, 21 \pm 220, 75) \text{ gcm/s}$$

Observou-se também, uma discrepância entre os dois valores, o erro relativo calculado foi:

$$E = 9,34\%$$

As energias cinéticas inicial e final também calculadas foram:

$$K_i = (658469, 79 \pm 9047, 23) \text{ ergs}$$

$$K_f = (275161, 59 \pm 3565, 01) \text{ ergs}$$

Calculou-se também a energia cinética perdida durante a colisão dos carrinhos:

$$Q = (-383308, 20 \pm 12612, 24) \text{ ergs}$$

A razão entre a energia cinética inicial e final e suas equações gera a razão de energia cinética conservada experimentalmente e as esperada teoricamente pelos valores das massas, os valores obtidos em cada lado da equação foram respectivamente:

$$\frac{k_f}{k_i} = 0,418$$

$$\frac{m_A}{m_A + m_B} = 0,506$$

Como é conclusivo pelos resultados, houve uma significativa perda de 9,34% de momento, indicando que não houve a conservação completa do mesmo, além disso houve uma perda de cerca de 58,2% da energia cinética inicial comparada com a final, acima dos esperados 49,4% para o sistema em questão. Essas discrepâncias, assim como no sistema anterior, são resultados da incapacidade de gerar um sistema que represente perfeitamente uma colisão totalmente inelástica, já que sempre vai haver perdas ou certas interferências de forças externas, além disso, o equipamento utilizado pode ter afetado o experimento igualmente, gerando maiores discrepâncias.

Por fim, podemos concluir que, houve discrepâncias com os resultados dos experimentos obtidos, comparados com o que era esperado, porém essas discrepâncias podem ser explicadas por fatores externos relacionados a realização dos experimentos. Assim mesmo considerando as discrepâncias e suas possíveis causas, podemos dizer que os experimentos seguiram de forma aproximada o esperado pelas equações que governam esses tipos de fenômenos físicos.

Referências

- [1] H.D. Young & R.A. Freedman, *Física I, Sears & Zemansky* (Pearson, Addison Wesley, 2016), 14^a Ed.
- [2] H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica, 1: Mecânica* (São Paulo: Blucher, 2013), 5^a Ed.
- [3] <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/colisoes-elasticas-inelasticas.htm>
- [4] <https://www.infoescola.com/fisica/colisao-inelastica/>
- [5] <https://www.preparaenem.com/fisica/plano-inclinado.htm>
- [6] https://aprender3.unb.br/pluginfile.php/2357799/mod_resource/content/1/Experimento_V_colisoes_Wytler.pdf