



Universidade Estadual de Maringá – Centro de Ciências Exatas

Colisões

Relatório de Física Experimental I

Acadêmicos:

1. Giovanna Maria Nogueira, RA 112479 – Física, Turma F
2. João Vitor Honório Ribeiro, RA 99360 – Física, Turma F
3. Vitor Hugo Ferrari Ribeiro, RA 112481 – Física, Turma F

Maringá, 04 de Setembro de 2019

Colisões

Relatório de Física Experimental I

Introdução

Uma colisão entre duas partículas é um processo em que uma é lançada contra a outra, podendo trocar energia e momento em consequência de sua interação. As "partículas" podem ser corpos macroscópicos ou pertencer à escala atômica ou subatômica. O resultado da colisão pode ser extremamente variado. Podem emergir as mesmas duas partículas, caso em que o processo é chamado de espalhamento. Por outro lado, pode emergir um sistema muito diferente: uma só partícula, duas partículas diferentes das iniciais (reações químicas, reações nucleares) ou mais de duas partículas (fragmentação, colisões de alta energia entre "partículas elementares").

Estudando os parâmetros que caracterizam os produtos da colisão e sua dependência dos parâmetros característicos (tais como energia e momento) das partículas incidentes, obtêm-se informações importantes sobre a natureza das interações entre as partículas, interações estas responsáveis pelo próprio processo de colisão. Quase tudo que sabemos sobre as interações entre partículas subatômicas resultou do estudo de processos de colisão entre elas. Experimentalmente, prepara-se um feixe de partículas num acelerador e com elas se bombardeia um "alvo" que contém o outro parceiro na colisão, estudando-se os produtos da colisão com o auxílio de detectores.

Recentemente, também foram desenvolvidas novas técnicas que permitem lançar um feixe de partículas aceleradas contra outro feixe. O estudo das colisões tornou-se hoje em dia um dos campos centrais de atividade em toda a física. Além de ser praticamente o único método de

Resumo

Nesse experimento temos como objetivo observar a conservação de momento linear e da energia cinética do sistema em colisões elásticas para a seguinte condição inicial: partícula alvo parada, e partícula projétil com uma velocidade v_{i1} em movimento unidimensional (colisão frontal). Utilizando um Trilho de ar; Compressor de ar; Cronômetro digital; 2 carrinhos; Régua; Nível; Balança.

investigação experimental disponível das interações entre partículas subatômicas, o tratamento teórico dessas interações também é formulado atualmente, em grande parte, em termos de colisões.

O que caracteriza um processo de colisão?

O ponto de partida é uma configuração inicial (Fig. 1, ou seja, "antes da colisão" em que as duas partículas ainda não entraram em colisão, ou seja, em que a interação entre elas é desprezível. Por conseguinte, elas se movem como partículas livres, com movimento retilíneo uniforme, sendo caracterizadas pelas suas massas m_1 e m_2 e momentos iniciais p_{1i} e p_{2i} , respectivamente (ou velocidades $v_{1i} = p_{1i}/m_{1i}$ e $v_{2i} = p_{2i}/m_{2i}$). Está implícita nessa descrição a idéia de que as forças de interação entre as partículas decrescem com suficiente rapidez, quando aumenta a distância entre elas, para que a interação seja desprezível na configuração inicial, mesmo que para isso esta configuração tenha de ser extrapolada a distâncias muito grandes ("infinitas").

O processo de colisão tem lugar numa etapa intermediária, quando as partículas penetram na "região de interação" (Fig. 2).

Na configuração final (Fig. 3), ou seja, "depois da colisão", as partículas resultantes já se afastaram suficientemente da região de colisão para que sua interação seja novamente desprezível, movendo-se como partículas livres, caracterizadas por suas massas e momentos finais. O problema fundamental da teoria das colisões consiste em obter a configuração final a partir da configuração inicial. Para isto, é necessário, em princípio, conhecer as forças de interação entre as partículas. Na prática, se essas forças não são bem conhecidas, tem-se muitas vezes o problema inverso, de obter informação sobre as interações a partir dos resultados da colisão.

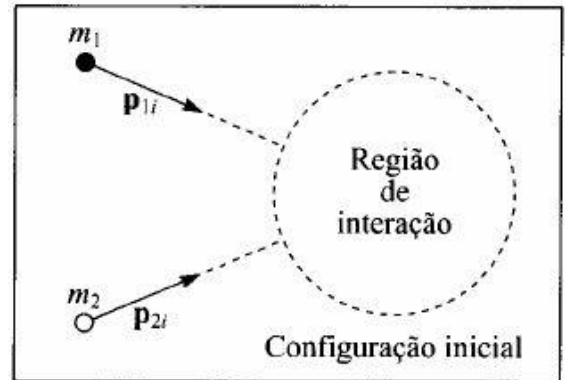


Figura 1 - Configuração Inicial de uma Colisão

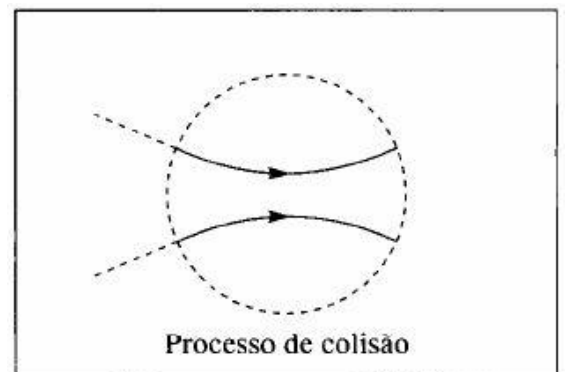


Figura 2 - Etapa Intermediária

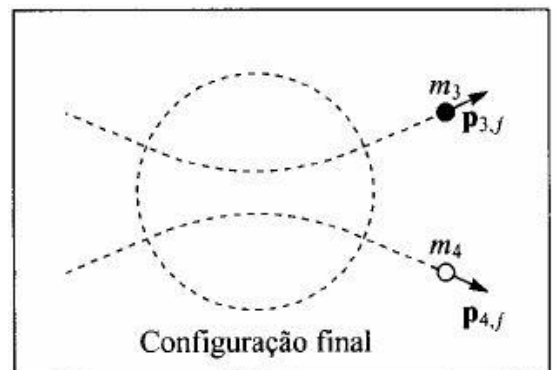


Figura 3 - Configuração Final da Colisão

Para fixar ideias, podemos pensar em processos de colisão em que as interações são devidas a forças de contato, mas isto não é de forma alguma necessário (as deflexões podem ser produzidas por forças elétricas ou gravitacionais, por exemplo). Conforme vamos ver, muitos resultados podem ser obtidos exclusivamente a partir dos princípios de conservação de momento e energia, independentemente do conhecimento das forças de interação. É também por esta razão que tais resultados permanecem válidos para partículas atômicas ou subatômicas, às quais os princípios de conservação também se aplicam.

(Mecânica, Moysés)

Fundamentação teórica

Impulso de Uma Força

Já vimos que as forças de contato que atuam durante uma colisão (de dois discos ou bolas de bilhar, de uma raquete de tênis com a bola, de um bate-estaca com a estaca) são forças extremamente intensas, que atuam durante um intervalo de tempo extremamente curto, o "tempo de colisão". O efeito de uma tal força impulsiva pode ser medido através do impulso que produz. Para defini-lo, consideremos o exemplo de uma colisão frontal entre duas bolas de bilhar (Fig. 4).

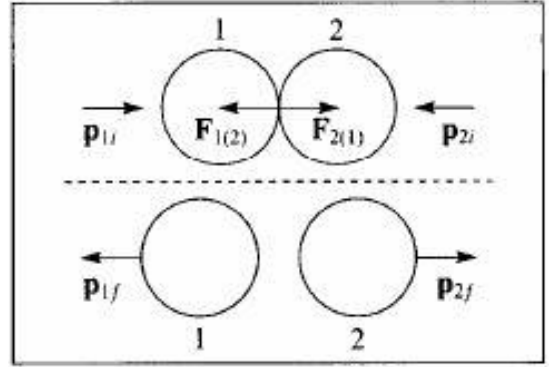


Figura 4 - Colisão Frontal

As equações de movimento são.

$$\frac{dp_1}{dt} = F_{1(2)} = -F_{2(1)} = -\frac{dp_2}{dt}$$

Onde as forças de contato $F_{1(2)}$ e $F_{2(1)}$, que obedecem a 3ª Lei de Newton, atuam durante o intervalo de tempo extremamente curto $(t_i, t_f) = (t_i = \text{instante inicial}; t_f = \text{instante final})$

Integrando ambos os membros da equação anterior em relação ao tempo desde de t_i até t_f , obtemos:

$$\int_{t_i}^{t_f} \frac{dp_1}{dt} \cdot dt = \int_{t_i}^{t_f} dp_1 = p_{1f} - p_{1i} = \Delta p_1 = \int_{t_i}^{t_f} F_{1(2)} \cdot dt = - \int_{t_i}^{t_f} F_{2(1)} \cdot dt = -\Delta p_2$$

De forma geral, para uma força F qualquer, a integral;

$$\int_{t_i}^{t_f} F \cdot dt = \int_{t_i}^{t_f} \frac{dp}{dt} \cdot dt = \int_{p_i}^{p_f} dp = p_f - p_i = \Delta p$$

Chama-se impulso da força F durante o intervalo de tempo (t_i, t_f) . Vemos pela equação acima que o *Impulso de uma força aplicada a uma partícula durante (t_i, t_f) é igual à variação do momento da partícula durante esse intervalo.*

Tipos de Colisões

A energia total do sistema sempre se conserva numa colisão, como em qualquer processo físico, embora parte da energia mecânica possa converter-se em outras formas de energia, como o calor. Entretanto, mesmo nas colisões em que a energia mecânica se conserva (forças de interação conservativas), parte da energia cinética pode converter-se em energia potencial, ou vice-versa.

Colisões Elásticas Unidimensionais

A colisão é denominada elástica quando ocorre conservação da energia e do momento linear dos corpos envolvidos. A principal característica desse tipo de colisão é que, após o choque, a velocidade das partículas muda de direção, mas a velocidade relativa entre os dois corpos mantém-se igual.

Consideremos duas partículas que se movem ao longo de uma reta e colidem elasticamente (por exemplo, colisões frontais entre dois discos ou bolas de bilhar). Sejam m_1 e m_2 as massas, e v_{1i} e v_{2i} as velocidades iniciais antes da colisão. A velocidade relativa deve satisfazer à condição.

$$v_{1i} - v_{2i} > 0$$

Para que haja colisão; supomos que esta condição é satisfeita.

Supomos ainda, em todos os problemas de colisão que vamos tratar, que as partículas estão sujeitas apenas às forças internas de interação que atuam durante a colisão, de modo que o *momento total do sistema se conserva*:

$$p_i = p_{1i} + p_{2i} = p_{1f} + p_{2f} = p_f$$

Como por hipótese a colisão é elástica, a energia cinética total também se conserva. Convém exprimi-la em termos dos momentos das partículas. Para isto, notamos que, não apenas no caso unidimensional, mas de forma geral, temos, para uma partícula,

$$\left. \begin{aligned} p &= m \cdot v \rightarrow v = p/m \\ T &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \end{aligned} \right\} T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{p^2}{m^2}$$

Ou seja,

$$T = \frac{p^2}{2 \cdot m}$$

É a expressão da energia cinética de uma partícula em função de seu movimento e massa. A *conservação da energia cinética* na colisão dá então;

$$T_i = \frac{p_{1i}^2}{2 \cdot m_1} + \frac{p_{2i}^2}{2 \cdot m_2} = \frac{p_{1f}^2}{2 \cdot m_1} + \frac{p_{2f}^2}{2 \cdot m_2} = T_f$$

Dada a configuração inicial (p_{1i}, p_{2i}) , vemos que a configuração final, neste caso, é inteiramente determinada pela configuração inicial e pela conservação do momento e da energia cinética, não dependendo da natureza das forças de interação (desde que correspondam a um processo elástico).

Também podemos escrever as equações em termos das velocidades (bastando usar $p = m \cdot v$).

$$\begin{aligned} v_{1f} &= \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot v_{1i} + \frac{2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_{2i} \\ v_{2f} &= \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{1i} - \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot v_{2i} \end{aligned}$$

Casos particulares:

(I) **Massas Iguais** – Neste caso, temos:

$$\begin{aligned} p_{1f} &= p_{2i} & v_{1f} &= v_{2i} \\ p_{2f} &= p_{1i} & v_{2f} &= v_{1i} \end{aligned}$$

Ou seja, as partículas trocam entre si os momentos e as velocidades.

(II) **Alvo em repouso** – Conforme já foi dito, esta é uma situação comum, correspondendo a;

$$v_{2i} = 0 = p_{2i}$$

Vejamos o que acontece, nessa situação, em dois casos extremos.

(a) $m_1 \ll m_2$: As equações das velocidades finais, dão, neste caso,

$$v_{1f} \approx v_{1i}$$

$$v_{2f} \approx 2 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot v_{1i} \ll v_{1i}$$

Logo, quando uma partícula muito leve colide com outra muito pesada em repouso, a partícula leve é praticamente refletida para trás com velocidade igual e contrária à incidente, ao passo que a partícula pesada sofre um recuo com velocidade muito pequena (tanto menor quanto menor a razão das massas). Um exemplo é a colisão elástica de uma bola em queda livre com a superfície da Terra: o recuo sofrido pela Terra é desprezível.

Das equações acima, a segunda dá também;

$$p_{2f} \approx 2 \cdot p_{1i}$$

Ou seja, o momento transferido ao recuo da partícula alvo é aproximadamente o dobro do momento incidente. Isto decorre da conservação do momento e de ser $p_{1f} \approx -p_{1i}$, ou seja, $\Delta p_1 \approx -2 \cdot p_{1i}$.

(b) $m_1 \gg m_2$: Neste caso, as equações das velocidades finais dão:

$$v_{1f} \approx v_{1i}$$

$$v_{2f} \approx v_{2i}$$

Logo, na colisão elástica de uma partícula muito pesada com outra muito leve em repouso, a partícula pesada quase não é freiada ("ignora" a presença da outra partícula), mas a leve é lançada para a frente com aproximadamente o dobro da velocidade da partícula incidente. Um exemplo é o que ocorre quando uma bola bate num dos pinos no jogo de boliche.

Colisões Inelásticas Unidimensionais

Se, ao ocorrer uma colisão, não houver conservação da energia cinética, ela será denominada colisão inelástica. Nesse tipo de colisão, a energia pode ser transformada em outra forma, por exemplo, em energia térmica, ocasionando o aumento da temperatura dos objetos que colidiram. Dessa forma, apenas o momento linear é conservado. Quando ocorre a perda máxima de energia cinética denominamos essa colisão como sendo perfeitamente inelásticas. 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.

Como exemplo de colisão inelástica em uma dimensão, vamos considerar apenas uma colisão totalmente inelástica. Isto não quer dizer que a energia cinética final se anula, o que seria impossível, mas que ela assuma o menor valor possível, que é o valor da energia cinética associada ao movimento do centro de massa. Com efeito, as forças que atuam na colisão sendo forças internas, o CM tem de permanecer em movimento retilíneo e uniforme, e o valor mínimo da energia cinética é aquele correspondente a esse movimento. Vemos assim que, numa colisão totalmente inelástica, não pode haver movimentos internos (ou seja, relativos ao CM) após a colisão: as partículas têm de se mover juntas, seu movimento coincidindo com o do CM.

A conservação do momento dá agora:

$$p_i = m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} = (m_1 + m_2) \cdot v_f = p_f$$

O que determina v_f

$$v_f = \frac{m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i}}{m_1 + m_2} = V_{CM}$$

Logo, a conservação do momento basta para determinar a configuração final de uma colisão totalmente inelástica, e o resultado concorda com as considerações acima.

Colisões parcialmente inelásticas: ocorre conservação de apenas uma parte da energia cinética de forma que a energia final é menor do que a energia inicial. Constituem a maioria das colisões que ocorre na natureza. Nesse caso, após o choque, as partículas separam-se, e a velocidade relativa final é menor do que a inicial

Procedimento e dados experimentais

Materiais Utilizados

- Trilho de ar - Azeheb;
- 3 Suportes em U com elástico - Azeheb;
- Compressor de ar - Azeheb;
- Cronômetro digital - Azeheb;
- 2 móveis - Azeheb;
- 4 sensores de tempo- Azeheb;
- Régua;
- Nível;

Montagem Experimental

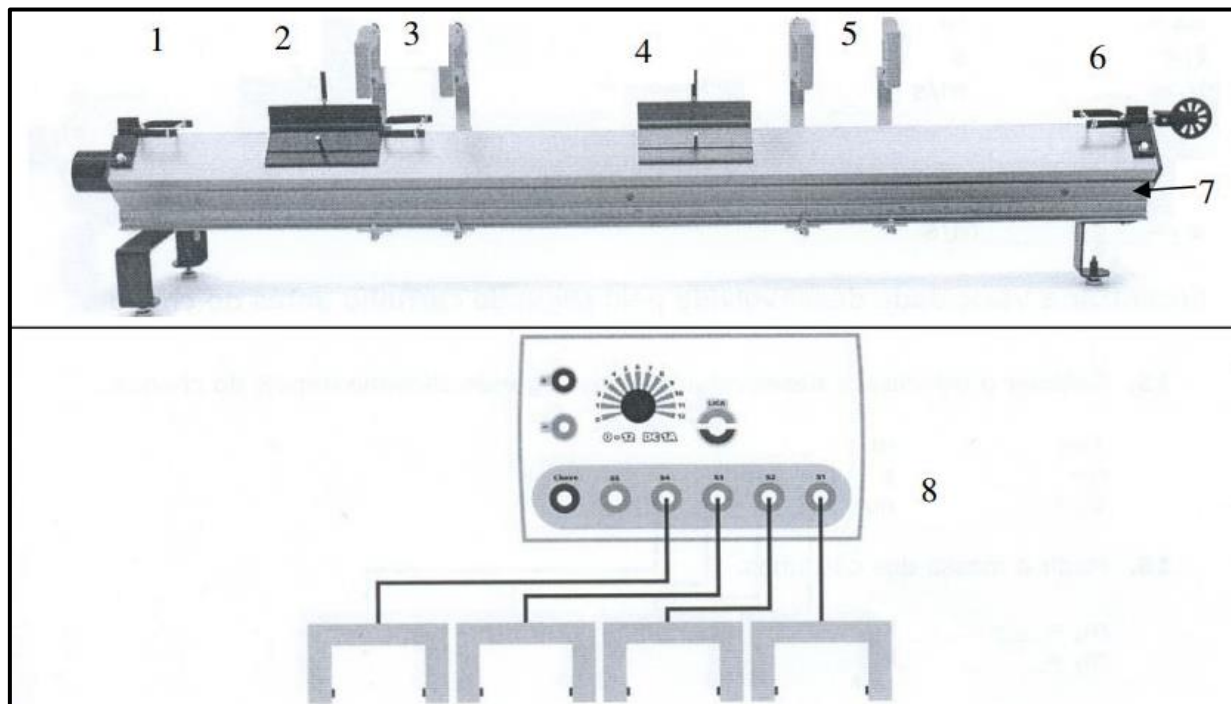


Figura 5 - Foto da montagem do experimento para colisão elástica. Sendo 1 e 6 o suporte com elástico laterais, 2 e 4 os carrinhos projétil e alvo respectivamente, 3 e 5 os sensores unidos pela base aos pares, 7 o trilho de ar e 8 o desenho esquemático da conexão dos sensores.

- 1 – Posicione os sensores no equipamento de acordo com a Figura 5.
- 2 – Fixe nas extremidades do trilho os suportes em U com elásticos;
- 3 – Coloque na extremidade direita do móvel um suporte em U com o elástico, este será o móvel projétil (m_1);
- 4 – Posição dos sensores (S1, S2, S3, S4): O primeiro sensor deve ser posicionado a uma distância de aproximadamente 0,30 m da origem, para que se possa dar um impulso no móvel projétil. E, os sensores S1 e S2 (item 3 na Fig. 5) deverão ser colocados com as bases unidas, ou seja, o mais próximo um do outro, e ambos a uma distância maior que 0,40 m dos sensores S3 e S4, (item 5 na Fig. 5), que também deverão estar unidos pela base,

Procedimento Experimental

- 1 – Afira as massas dos móveis, iguale-as usando fichas de metal e fita adesiva, e anote o valor das massas na Tabela;
- 2 – Meça as distâncias entre os sensores e anote na Tabela;
- 3 – Nivele o trilho;

4 – Selecione o cronômetro na função F3 (choque). Nesta função o cronômetro funcionará com apenas dois visores para a contagem do tempo. O primeiro visor que pertence aos sensores S1 (inicia a contagem) e S2 (encerra a contagem) informará o tempo antes da colisão. E, o segundo visor informará o tempo dos sensores S3 (inicia a contagem) e S4 (encerra a contagem) após a colisão;

5 – Posicione o móvel alvo (m_2) entre os sensores S2 e S3 (mais próximo deste), este móvel deve ficar em repouso;

6 – Impulsione o móvel projétil na direção do móvel alvo. Para este impulso, pressione o móvel projétil contra o elástico que se encontra na extremidade do trilho, e libere o móvel tal que este irá colidir com o móvel alvo;

7 – Anote na Tabela os tempos fornecidos pelo cronômetro. Zere o cronômetro;

8 – Repita mais 2 vezes o experimento, alterando a ordem das massas dos móveis.

Resultados

1º Caso - A tabela abaixo apresenta os dados obtidos experimentalmente sobre colisões elásticas quando $m_1 < m_2$.

$$\frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{x_2}{t_2} \cdot \frac{t_1}{x_1} = \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{t_1}{t_2} \rightarrow \frac{x_2}{x_1} = 1 \quad \therefore \quad \frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{t_1}{t_2}$$

$t_1(s)$	$t_2(s)$	v_{2f}/v_{1i}
0,068	0,097	$0,068/0,097 = \mathbf{0,701}$
0,047	0,068	$0,047/0,068 = \mathbf{0,692}$
0,040	0,058	$0,040/0,058 = \mathbf{0,690}$
0,045	0,069	$0,045/0,069 = \mathbf{0,653}$
0,044	0,063	$0,044/0,063 = \mathbf{0,698}$
0,046	0,070	$0,046/0,070 = \mathbf{0,657}$
0,040	0,059	$0,040/0,059 = \mathbf{0,678}$
0,043	0,063	$0,043/0,063 = \mathbf{0,683}$
0,040	0,058	$0,040/0,058 = \mathbf{0,690}$
0,041	0,060	$0,041/0,060 = \mathbf{0,683}$
$\Delta x_1 = 7 \text{ cm}$	$\Delta x_2 = 7 \text{ cm}$	— — —
$m_1 = 204,15 \text{ g}$	$m_2 = 322,33 \text{ g}$	$M_{\text{édia}} = \mathbf{0,6825}$

Tabela 1 - Dados de quando $m_1 < m_2$

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{e} \quad \frac{v_{2f}}{v_{1f}} = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$r_1 = \frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me \quad , \quad r_1' = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$Me = t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \rightarrow \quad \alpha = 0,05; \quad n = 10 \quad \Rightarrow \quad t_{\alpha/2, n-1} = 2,262$$

$$S = 0,0161 \quad \rightarrow \quad Me = 2,262 \cdot \frac{S}{\sqrt{10}} \Rightarrow Me = 2,262 \cdot \frac{0,0161}{3,16} = 0,01152$$

$$r_1 = \mathbf{0,6825} \pm \mathbf{Me} \quad , \quad r_1' = \frac{2 \cdot 204,15}{204,15 + 322,33} = \mathbf{0,7755}$$

$$\Delta_1 = \left| \frac{r_1 - r_1'}{r_1'} \right| \times 100 \quad \rightarrow \quad \Delta_1 = \left| \frac{\frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me - \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}}{\frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}} \right| \times 100$$

$$\Delta_1 = \left| \frac{0,6825 \pm 0,01152 - 0,7755}{0,7755} \right| \times 100 = 10,507\%$$

2º Caso - A tabela abaixo apresenta os dados obtidos experimentalmente sobre colisões elásticas quando $m_1 > m_2$.

$$\frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{x_2}{t_2} \cdot \frac{t_1}{x_1} = \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{t_1}{t_2} \rightarrow \frac{x_2}{x_1} = 1 \quad \therefore \quad \frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{t_1}{t_2}$$

$t_1(s)$	$t_2(s)$	v_{2f}/v_{1i}
0,058	0,052	0,058/0,052 = 1,115
0,054	0,048	0,054/0,048 = 1,125
0,061	0,056	0,061/0,056 = 1,089
0,058	0,052	0,058/0,052 = 1,115
0,053	0,048	0,053/0,048 = 1,104
0,054	0,049	0,054/0,049 = 1,102
0,047	0,041	0,047/0,041 = 1,146
0,052	0,047	0,052/0,047 = 1,106
0,058	0,052	0,058/0,052 = 1,115
0,053	0,048	0,053/0,048 = 1,104
$\Delta x_1 = 7 \text{ cm}$	$\Delta x_2 = 7 \text{ cm}$	— — —
$m_1 = 322,33 \text{ g}$	$m_2 = 204,15 \text{ g}$	$M_{\text{édia}} = 1,112$

Tabela 2 - Dados de quando $m_1 > m_2$

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{e} \quad \frac{v_{2f}}{v_{1f}} = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$r_2 = \frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me \quad , \quad r_2' = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$Me = t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \rightarrow \alpha = 0,05; n = 10 \Rightarrow t_{\alpha/2, n-1} = 2,262$$

$$S = 0,0154 \rightarrow Me = 2,262 \cdot \frac{S}{\sqrt{10}} \Rightarrow Me = 2,262 \cdot \frac{0,0154}{3,16} = 0,0110$$

$$r_2 = 1,112 \pm Me \quad , \quad r_2' = \frac{2 \cdot 322,33}{322,33 + 204,15} = 1,2245$$

$$\Delta_2 = \left| \frac{r_2 - r_2'}{r_2'} \right| \times 100 \quad \rightarrow \quad \Delta_2 = \left| \frac{\frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me - \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}}{\frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}} \right| \times 100$$

$$\Delta_2 = \left| \frac{1,112 \pm 0,0110 - 1,2245}{1,2245} \right| \times 100 = 8,29\%$$

3º Caso - A tabela abaixo apresenta os dados obtidos experimentalmente sobre colisões elásticas quando $m_1 = m_2$.

$$\frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{x_2}{t_2} \cdot \frac{t_1}{x_1} = \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{t_1}{t_2} \quad \rightarrow \quad \frac{x_2}{x_1} = 1 \quad \therefore \quad \frac{v_{2f}}{v_{1i}} = \frac{t_1}{t_2}$$

$t_1(s)$	$t_2(s)$	v_{2f}/v_{1i}
0,087	0,093	0,087/0,093 = 0,936
0,081	0,088	0,081/0,088 = 0,920
0,060	0,065	0,060/0,065 = 0,923
0,068	0,075	0,068/0,075 = 0,910
0,060	0,064	0,060/0,064 = 0,940
0,071	0,076	0,071/0,076 = 0,934
0,060	0,064	0,060/0,064 = 0,940
0,086	0,092	0,086/0,092 = 0,935
0,057	0,061	0,057/0,061 = 0,934
0,063	0,067	0,063/0,067 = 0,940
$\Delta x_1 = 7 \text{ cm}$	$\Delta x_2 = 7 \text{ cm}$	— — —
$m_1 = 223,30 \text{ g}$	$m_2 = 223,30 \text{ g}$	$M_{\text{édia}} = 0,931$

Tabela 3 - Dados de quando $m_1 = m_2$

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{e} \quad \frac{v_{2f}}{v_{1f}} = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$r_3 = \frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me \quad , \quad r_3' = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$Me = t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \rightarrow \alpha = 0,05; n = 10 \Rightarrow t_{\alpha/2, n-1} = 2,262$$

$$S = 0,0102 \rightarrow Me = 2,262 \cdot \frac{S}{\sqrt{10}} \Rightarrow Me = 2,262 \cdot \frac{0,0102}{3,16} = 0,0102$$

$$r_3 = 0,931 \pm Me \quad , \quad r_3' = \frac{2 \cdot 223,30}{223,30 + 223,30} = 1$$

$$\Delta_3 = \left| \frac{r_3 - r_3'}{r_3'} \right| \times 100 \rightarrow \Delta_3 = \left| \frac{\frac{v_{2f}}{v_{1i}} \pm Me - \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}}{\frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2}} \right| \times 100$$

$$\Delta_3 = \left| \frac{0,931 \pm 0,0102 - 1}{1} \right| \times 100 = 5,88\%$$

Conclusão

Numa análise mais rigorosa, percebe-se que alguns fatores não podem ser desprezados na conclusão final da análise dos dados. Alguns desses fatores são: a resistência do ar contra a superfície do móvel, o erro humano na imprecisão da medição das posições dos sensores e até mesmo interferências nas leituras do equipamento. Mesmo que quase não houvesse atrito entre o carro e a superfície do trilho, possíveis obstruções nas saídas de ar que mantinham o carro flutuando, uma leve inclinação no trilho e até mesmo algum desnível no formato do carro podem ter interferido nos resultados. Inúmeros são os fatores que podem atuar como interferências no experimento mesmo fazendo o máximo para evitá-los.

Todavia, os dados obtidos neste experimento não extraviaram as tolerâncias admitidas. O resultado do notável trabalho realizado por todos os grandes cientistas que estudaram os

movimentos ao longo da história pode ser observado. O experimento mostrou um resultado satisfatório, pois, dentro dos erros admitidos, cumpriu as previsões teóricas esperadas.

Conclui-se que a partir dos procedimentos anteriormente listados em materiais e métodos, obtemos os seguintes desvios percentuais:

$$\Delta_1 \cong 10,5\%$$

$$\Delta_2 \cong 8,3\%$$

$$\Delta_3 \cong 6\%$$

Não foi possível obter resultados perfeitos, pois, toda medida ou grandeza quando analisada experimentalmente contém erros mas, como é possível observar na linha de tendência presente no gráfico 1 os resultados encontrados estão numa margem de erro praticamente nula constatando assim o objetivo da prática de comprovar a velocidade constante do movimento observado no experimento.

Referências Bibliográficas

MUKAI, H., FERNANDES, P.R.G. Manual de Laboratório de Física I - DFI/UEM, 2008 a 2017.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica - Vol. 1 - Mecânica - 5ª Edição - São Paulo: Edgard Blücher, 2013.