

# COLISÃO EM UMA DIMENSÃO

## Material Utilizado:

- um conjunto para experimentos com trilho de ar composto de:
  - um trilho de ar (PASCO SF-9214)
  - um gerador de fluxo de ar (PASCO SF-9216)
  - dois carrinhos deslizantes
  - dois contadores de tempo com detecção fotoelétrica (PASCO ME-9215A)
  - dois adaptadores para parada, três adaptadores para colisão, duas lâminas para colisão, um adaptador cera em cilindro e um adaptador com agulha em cilindro.
  - um conjunto de massas adicionais

**Objetivo do Experimento:** Estudar a evolução das grandezas energia cinética e quantidade de movimento de um sistema de duas partículas que se envolvem em um processos de colisão (colisão elástica e colisão totalmente inelástica).

---

## INTRODUÇÃO

A *Lei da Conservação da Quantidade de Movimento* é um dos resultados fundamentais da Mecânica Clássica: a quantidade de movimento de um sistema de partículas isolado (isto é, na ausência de uma força externa resultante) se conserva.

Neste experimento consideraremos um sistema de duas partículas e investigaremos a colisão unidimensional entre as mesmas na condição em que a força resultante sobre o sistema é nula. Uma tal situação pode ser obtida fazendo dois carrinhos deslizantes (as partículas) movimentarem-se sobre um trilho nivelado, com colchão de ar. Este é criado por um fluxo de ar através de pequenas perfurações ao longo do trilho. Estando o trilho nivelado, o peso de cada carrinho é contrabalançado pela força normal proporcionada pelo colchão de ar e praticamente não há um componente resultante de força na direção de movimento, uma vez a única contribuição possível, a força de atrito, é minimizada.

Basicamente o que se quer neste experimento é determinar a evolução das grandezas quantidade de movimento e energia cinética do sistema no processo de colisão. Para tanto será necessário conhecer as massas e as velocidades de cada partícula (antes e depois da colisão). Neste experimento faremos com que um dos carrinhos (o alvo) esteja inicialmente em repouso (isto não introduz uma perda de generalidade, pois é sempre possível escolher um referencial no qual uma das partículas participantes da colisão esteja em repouso, antes ou depois da colisão). Dois tipos de colisão serão aqui investigados: a colisão *elástica* e a colisão *inelástica*. A colisão é dita elástica quando as forças de colisão (isto é, de interação entre as partículas do sistema durante a colisão) são conservativas e, neste caso, a energia cinética do sistema é recuperada integralmente após o processo de colisão. A colisão é dita inelástica quando as forças de colisão não são conservativas e, neste caso, a energia cinética do sistema após a colisão é inferior a energia cinética do sistema antes da colisão (isto é, a energia cinética do sistema se transforma em alguma outra forma de energia). No caso da colisão inelástica, escolheremos investigar o caso particular em que o projétil (carrinho 1) e o alvo (carrinho 2) se unem após a colisão.

Para medir as velocidades dos carrinhos, faremos uso de (dois) contadores de tempo com detecção fotoelétrica, operados no modo GATE. Neste modo a contagem de tempo é iniciada quando o

feixe de luz da barreira fotoelétrica é interrompido, continuando enquanto o feixe permanece bloqueado, e termina quando o feixe é desbloqueado. Consequentemente, este modo é adequado para medição da velocidade *média* de um objeto em movimento, que será dada pela razão entre o comprimento do objeto e o tempo de bloqueio do feixe de luz. Neste experimento, exceto no curto intervalo de tempo durante o qual ocorre a colisão, cada carrinho movimenta-se com velocidade constante, e portanto as velocidades média e instantânea coincidem. Como objeto interceptador, pode-se usar a bandeira (uma placa de plástico com pino banana, a ser fixada na parte superior do carrinho) que faz parte do conjunto.

Em cada um dos casos investigados a seguir, as barreiras fotoelétricas deverão ser colocadas cada uma nas proximidades de uma das extremidades do trilho e o alvo (carrinho 2) deverá ser posicionado inicialmente em repouso entre as barreiras. O projétil (carrinho 1) será feito incidir sobre o alvo, após ser impulsionado através da compressão de uma goma elástica presa a uma das extremidades do trilho.

Para efeito de entendimento do texto que segue, imaginaremos o projétil (carrinho 1) estar se movendo inicialmente da esquerda para a direita e convencionaremos chamar de barreiras fotoelétricas 1 e 2 aquelas situadas próximo às extremidades esquerda e direita do trilho, respectivamente, conforme procura representar a Fig.1. Adotaremos a seguinte terminologia para intervalos de tempo e velocidades:

$\Delta t_{1i}$ : tempo de interrupção de uma barreira fotoelétrica pelo carrinho 1, antes da colisão

$\Delta t_{1f}$ : tempo de interrupção de uma barreira fotoelétrica pelo carrinho 1, após a colisão

$\Delta t_{2i}$ : não há (o carrinho 2 está inicialmente em repouso)

$\Delta t_{2f}$ : tempo de interrupção de uma barreira fotoelétrica pelo carrinho 2, após a colisão

$v_{1i}$ : velocidade inicial do carrinho 1

$v_{1f}$ : velocidade final do carrinho 1

$v_{2i}$ : velocidade inicial do carrinho 2 ( $v_{2i} = 0$ )

$v_{2f}$ : velocidade final do carrinho 2

## PROCEDIMENTO

### Observações:

- (a) Se um acessório (como uma adaptador para colisão, por exemplo) é fixado em uma extremidade do carrinho deslizante, então um acessório de massa igual deve ser fixado na extremidade oposta, a fim de que o carrinho permaneça nivelado no trilho e não apresente uma tendência de movimento em qualquer direção.
- (b) Para efeito de medição da velocidade do objeto é importante destacar que, uma vez que a fonte e o detector fotoelétrico (da barreira fotoelétrica) têm larguras finitas, o comprimento real do objeto pode não ser igual ao comprimento “efetivo”  $L$  visto pela barreira. Para determinar  $L$ , deve-se

proceder da seguinte forma. (i) Com o contador no modo GATE, empurre o objeto através do feixe de luz (infravermelho) da barreira, ao longo do caminho que o objeto seguirá no experimento. Quando o contador é disparado (o LED na parte superior do contador se acende), meça a posição  $x_{(-)}$  do objeto relativamente a uma origem arbitrária. (ii) Continue a empurrar o objeto através do feixe de luz até que a contagem de tempo seja interrompida (o LED se apaga). Meça a nova posição  $x_{(+)}$  do objeto relativamente à origem escolhida anteriormente. (iii) A diferença  $L = x_{(+)} - x_{(-)}$  é o comprimento efetivo do objeto.

- (c) É importante que a colisão ocorra após o carrinho projétil ter passado completamente através da barreira fotoelétrica (próxima à sua posição inicial) e que, no caso da colisão elástica, e após esta ter ocorrido, os carrinhos projétil e alvo estejam completamente separados antes que cada um interrompa uma barreira fotoelétrica. Imediatamente após a medição dos intervalos de tempo, é necessário que os carrinhos sejam parados, para evitar que os mesmos interrompam novamente as barreiras fotoelétricas em decorrência da inversão de movimento nas extremidades do trilho.
- (d) Em alguns dos casos investigados a seguir, um dos cronômetros deverá registrar dois intervalos de tempo (de interrupção da barreira fotoelétrica). Desta forma, é conveniente usar a função memória do mesmo. Isto é feito da seguinte forma: (c1) Posicione a chave MEMORY na posição ON (ligada); (c2) aperte o botão RESET (para zerar o cronômetro). Tendo escolhido esta configuração, efetue o experimento e o intervalo de tempo inicial  $\Delta t_1$  é medido e imediatamente apresentado no mostrador digital. O segundo intervalo de tempo  $\Delta t_2$  é automaticamente medido, mas não é apresentado no mostrador. (c3) Após anotar o intervalo de tempo inicial  $\Delta t_1$ , empurre a chave MEMORY para a posição READ. O mostrador apresenta o tempo total  $\Delta t_1 + \Delta t_2$ . Subtraia  $\Delta t_1$  do tempo apresentado no mostrador para obter  $\Delta t_2$ .

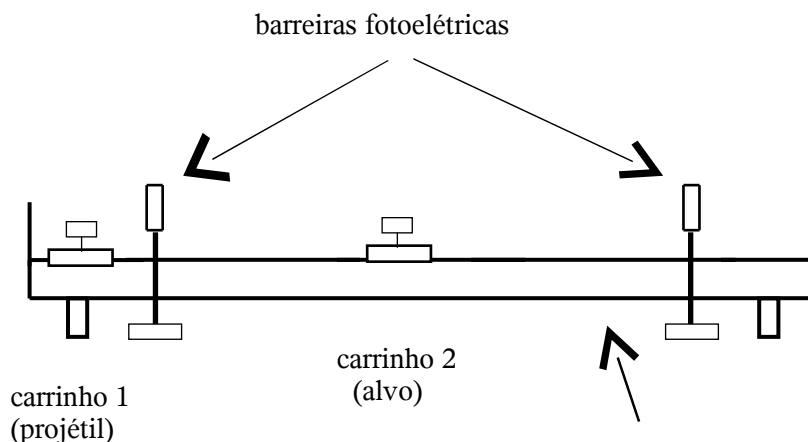


Figura 1 - Representação esquemática do arranjo experimental para colisão em trilho de ar

1. Fixe um adaptador para parada (de movimento) em cada extremidade do trilho.
2. Fixe um adaptador para colisão (com goma elástica) no adaptador para parada da extremidade esquerda do trilho.

3. Fixe uma lâmina para colisão (em cilindro com plugue banana) em cada extremidade do projétil (carrinho 1) e um adaptador para colisão (com goma elástica) em cada extremidade do alvo (carrinho 2).
4. Fixe uma bandeira na parte superior de cada carrinho (esta servirá como objeto interceptador do feixe de luz).
5. Conecte o trilho de ar ao gerador de fluxo de ar através da mangueira.
6. Posicione um dos carrinhos deslizantes sobre do trilho. Ligue o gerador de fluxo de ar e regule o seu fluxo de forma que o carrinho possa (com um pequeno impulso) deslizar livremente sobre o trilho.
7. Reposicione o carrinho deslizante, sem velocidade inicial, aproximadamente no centro do trilho de ar. Ajuste os parafusos de nivelamento do trilho (em sua base) até que o carrinho permaneça essencialmente em sua posição inicial, não demonstrando uma tendência clara de aceleração em qualquer dos sentidos.
8. Reduza ao mínimo o fluxo de ar e desligue o gerador.

#### Colisão Elástica (projétil mais pesado que alvo)

Neste caso a experiência mostra que o projétil mantém o sentido de movimento após a colisão. Desta forma, a barreira fotoelétrica 2 deverá ser interceptada duas vezes, primeiramente pelo alvo e depois pelo projétil.

9. Fixe massas adicionais no projétil (carrinho 1) de forma que este fique mais pesado que o alvo (carrinho 2). Meça e registre as massas  $m_1$  e  $m_2$  do projétil e alvo.
10. Posicione dois contadores de tempo ao longo do trilho, cada um próximo a uma das extremidades deste. Ajuste a posição e orientação da barreira fotoelétrica de cada contador de tal forma que o feixe de luz (ao longo da linha fonte-detector) tenha uma altura adequada para interceptar a bandeira de cada carrinho e esteja orientado perpendicularmente ao trilho. Também certifique-se de que as bandeiras estejam orientadas paralelamente ao eixo do trilho.
11. Meça e registre o comprimento efetivo  $L$  da bandeira, fazendo uso de um dos contadores e como explicado acima, no item (b). Se as bandeiras utilizadas forem idênticas, é suficiente medir o comprimento efetivo de uma delas apenas.
12. Ligue os dois contadores e selecione o modo de operação GATE e a resolução de 0,1 ms. Acione a função memória do contador (coloque a chave MEMORY na posição ON).
13. Zere o indicador de tempo de cada um dos contadores.
14. Ligue o gerador de fluxo de ar e ajuste o fluxo aproximadamente para o valor utilizado no processo de nivelamento do trilho.
15. Impulsione o projétil (carrinho 1) contra a goma elástica na extremidade esquerda do trilho.
16. Registre os intervalos de tempo  $\Delta t_{1i}$ ,  $\Delta t_{1f}$  e  $\Delta t_{2f}$  fornecidos pelos contadores.

17. Reduza ao mínimo o fluxo de ar.

#### Colisão Elástica (projétil mais leve que alvo)

Neste caso a experiência mostra que o projétil recua após a colisão. Desta forma, a barreira fotoelétrica 1 deverá ser interceptada duas vezes pelo projétil.

18. Transfira as massas fixadas no projétil (carrinho 1) para o alvo (carrinho 2) de forma que este fique mais pesado que o projétil. Meça e registre as massas  $m_1$  e  $m_2$  do projétil e alvo.

19. Efetue as ações descritas no conjunto de itens de 13 a 17, para este novo caso.

#### Colisão Totalmente Inelástica

Neste caso o projétil e o alvo se unem após a colisão. Desta forma, cada barreira fotoelétrica será interceptada uma vez.

20. Substitua a lâmina para colisão (em cilindro com plugue banana) na extremidade direita do projétil (carrinho 1) por um adaptador com agulha e o adaptador para colisão (com goma elástica) na extremidade do alvo (carrinho 2) por um adaptador com cera. Este arranjo proporcionará a colisão totalmente inelástica. Meça e registre as massas  $m_1$  e  $m_2$  do projétil e alvo.

21. Efetue as ações descritas no conjunto de itens de 13 a 17, para este novo caso.

22. Para cada um dos casos investigados, Obtenha as velocidades  $v_{1i}$ ,  $v_{1f}$  e  $v_{2f}$  correspondentes, através do cálculo  $v = L / \Delta t$ .

23. Complete a tabela calculando, para cada um dos casos, os valores inicial e final de quantidade de movimento  $P_i = m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}$  ( $= m_1 v_{1i}$ ) e  $P_f = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$ , bem como de energia cinética,  $E_{ci} = (m_1 v_{1i}^2 + m_2 v_{2i}^2) / 2$  [ $= (m_1 v_{1i}^2) / 2$ ] e  $E_{cf} = (m_1 v_{1f}^2 + m_2 v_{2f}^2) / 2$ . Efetue os cálculos com a propagação de erro adequada e levando em conta as incertezas em todas as medidas.

24. Dentro da precisão com que as grandezas pertinentes foram medidas, a quantidade de movimento foi conservada nas colisões investigadas? Justifique sua resposta.

25. Dentro da precisão com que as grandezas pertinentes foram medidas, a energia cinética foi conservada nas colisões investigadas? O resultado obtido era esperado? Justifique sua resposta.

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

### *Experimento: Colisão em Uma Dimensão*

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### COMPONENTES DO GRUPO

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

#### COLISÃO ENTRE CARRINHOS DESLIZANTES SOBRE TRILHO DE AR

Comprimento efetivo da bandeira:

$$x_{(-)} = (\text{_____} \pm \text{___}) \text{ mm,}$$

$$x_{(+)} = (\text{_____} \pm \text{___}) \text{ mm,}$$

$$L = x_{(+)} - x_{(-)} = (\text{_____} \pm \text{___}) \text{ mm}$$

	Colisão		Colisão Totalmente Inelástica
	$m_1 > m_2$	Elástica $m_1 < m_2$	
$m_1$ (g)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$m_2$ (g)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$\Delta t_{1i}$ (s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$\Delta t_{2i}$ (s)	---	---	---
$\Delta t_{1f}$ (s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$\Delta t_{2f}$ (s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$v_{1i}$ (m / s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$v_{2i}$ (m / s)	0	0	0
$v_{1f}$ (m / s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$v_{2f}$ (m / s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$P_i$ (kg m / s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$P_f$ (kg m / s)	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$E_{ci}$ (kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup> )	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____
$E_{cf}$ (kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup> )	_____ ± ____	_____ ± ____	_____ ± ____

## Resultados obtidos em certo experimento

$$L = (98 \pm 1) \text{ mm}$$

	Colisão	Elástica	Colisão Totalmente Inelástica
	$m_1 > m_2$	$m_1 < m_2$	
$m_1$ (g)	$310,0 \pm 0,1$	$209,3 \pm 0,1$	$209,4 \pm 0,1$
$m_2$ (g)	$209,7 \pm 0,1$	$310,3 \pm 0,1$	$310,2 \pm 0,1$
$\Delta t_{1i}$ (s)	$0,1919 \pm 1\%$	$0,1877 \pm 1\%$	$0,2213 \pm 1\%$
$\Delta t_{2i}$ (s)	---	---	---
$\Delta t_{1f}$ (s)	$0,9955 \pm 1\%$	$0,9575 \pm 1\%$	$1,0651 \pm 1\%$
$\Delta t_{2f}$ (s)	$0,1660 \pm 1\%$	$0,2401 \pm 1\%$	$1,0651 \pm 1\%$
$v_{1i}$ (m / s)	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$v_{2i}$ (m / s)	0	0	0
$v_{1f}$ (m / s)	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$v_{2f}$ (m / s)	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$P_i$ (kg m / s)	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$P_f$ (kg m / s)	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$E_{ci}$ (kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup> )	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____
$E_{cf}$ (kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup> )	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____	_____ $\pm$ ____