

## MOVIMENTO 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)
  - um carrinho deslizando
  - três contadores de tempo com detecção fotoelétrica (PASCO ME-9215A)
  - dois adaptadores para parada, dois adaptadores para colisão e uma lâmina para colisão
  - um calço para inclinação de trilho
  
- uma trena milimetrada
- um paquímetro

**Objetivo do Experimento:** Introduzir os conceitos básicos de movimentos unidimensionais, com velocidade constante e com aceleração constante, e obter experimentalmente suas equações de movimento.

---

### INTRODUÇÃO

Neste experimento vamos investigar o movimento unidimensional de uma partícula. Para melhor conhecer as condições sob as quais o experimento é realizado, minimiza-se a ação do atrito sobre a partícula estudada. Aqui esta situação será obtida fazendo um carrinho deslizando (a partícula) movimentar-se sobre um trilho com colchão de ar.

O carrinho será colocado sobre um trilho com perfurações pequenas, através dos quais flui o ar fornecido pelo gerador de fluxo de ar, que cria o colchão de ar necessário.

Basicamente o que se quer obter neste experimento são curvas *velocidade versus posição*, em algumas situações diferentes. Para tanto, faremos uso de contadores de tempo com detecção fotoelétrica, que, quando operados em um modo e segundo um arranjo apropriados, fornecem (uma aproximação de) a velocidade instantânea do objeto.

O movimento de uma partícula (quase) na ausência de uma força resultante é aqui obtido nivelando-se o trilho de ar, situação na qual o peso do carrinho deslizando (a partícula) é contrabalançado pela força normal proporcionada pelo colchão de ar e praticamente não há um componente resultante de força ao longo da direção de movimento da partícula, uma vez a única contribuição possível, a força de atrito, é minimizada.

Para investigar o movimento de uma partícula sob ação de uma força constante, inclina-se o trilho de ar, situação na qual a força resultante é o componente do peso ao longo da direção do trilho (novamente desprezando-se a possível contribuição do atrito). Aqui serão estudados dois movimentos. No primeiro movimento tem-se a partícula movimentando-se em um plano inclinado de certo ângulo em relação à horizontal. No segundo movimento mantém-se este ângulo de inclinação e observa-se o movimento de outra partícula, com massa superior à da primeira.

Para a medição da velocidade do carrinho deslizando, será feito uso de 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. Para se obter uma medida da velocidade instantânea com boa aproximação é necessário que o intervalo de tempo (de interceptação do feixe de luz) seja suficientemente curto, ou seja, que na prática o comprimento do objeto interceptador seja suficientemente pequeno. No caso do carrinho deslizante, isto pode ser conseguido fixando-se a este, como objeto interceptador, a lâmina em cilindro com pino banana, que é parte do conjunto.

## PROCEDIMENTO

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.

1. Fixe um adaptador para parada (de movimento) em cada extremo do trilho.
2. Fixe um adaptador para colisão (com goma elástica) em cada um dos adaptadores para parada.
3. Fixe uma lâmina para colisão (em cilindro com plugue banana) em cada extremo do carrinho deslizante e também uma outra na extremidade superior do carrinho (esta servirá como objeto interceptador do feixe de luz).
4. Conecte o trilho de ar ao gerador de fluxo de ar através da mangueira.
5. Posicione o carrinho deslizante 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.
6. 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.
7. Reduza ao mínimo o fluxo de ar e desligue o gerador.

### **Parte A - Movimento em um trilho horizontal sem atrito**

8. Posicione três contadores de tempo ao longo do trilho, um em cada extremidade deste e um aproximadamente em seu centro. 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 o objeto e esteja orientado perpendicularmente ao trilho.
9. Meça e registre o comprimento efetivo  $L$  do objeto interceptador, fazendo uso de um dos contadores e como explicado acima, no início desta seção (PRODEDIMENTO).
10. Ligue os três contadores e selecione o modo de operação GATE e a resolução de 0,1 ms.
11. Zere o indicador de tempo de cada um dos contadores.
12. Ligue o gerador de fluxo de ar e ajuste o fluxo aproximadamente para o valor utilizado no processo de nivelamento do trilho.
13. Impulsione o carrinho deslizante contra o adaptador para parada (de movimento) em um dos extremos do trilho.
14. Registre os intervalos de tempo  $\Delta t$  indicados por cada contador e obtenha as velocidades  $v$  correspondentes através do cálculo  $v = L / \Delta t$ .
15. Reduza ao mínimo o fluxo de ar e desligue o gerador.
16. Que tipo de movimento a dependência de  $v$  versus  $x$  (velocidade versus posição) sugere?

### Parte B - Movimento em um trilho inclinado sem atrito

Veja Fig. 1.

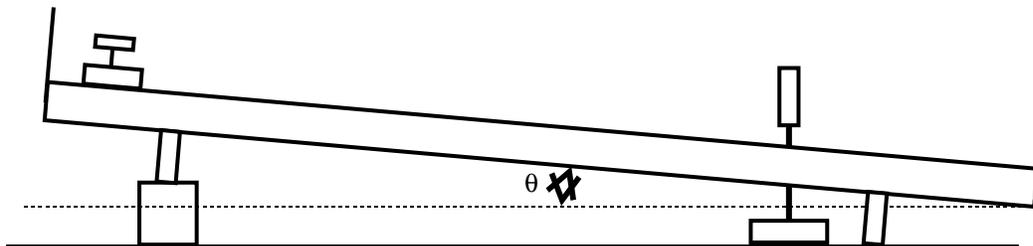


Fig. 1 – Representação esquemática do arranjo experimental para o trilho inclinado.

#### Primeiro Movimento - Carrinho Leve

17. Meça e registre a distância  $D$  entre os pontos de apoio do trilho (ao longo do eixo deste). Note que, devido à largura finita das bases de apoio, esta distância deve ser tomada entre os centros de cada base (uma maneira conveniente de obter esta distância é medir com uma trena a separação entre os lados das bases voltados para os extremos do trilho e descontar a metade da espessura de cada base, medida através de um paquímetro).

18. Selecione um calço apropriado para inclinar o plano previamente nivelado (o calço deve ser um prisma com bases lisas para que sua altura possa ser conhecida com suficiente precisão).
19. Meça e registre a altura  $h$  do calço selecionado, com um paquímetro.
20. Utilizando o calço selecionado, incline o trilho de ar.
21. Posicione um contador de tempo próximo à extremidade mais baixa do do trilho e ajuste a posição e orientação de sua barreira fotoelétrica de tal forma que o feixe de luz (ao longo da linha fonte-detector) tenha uma altura adequada para interceptar o objeto e esteja orientado perpendicularmente ao trilho. *É absolutamente necessário, a partir deste ponto e durante a realização desta parte do experimento, não modificar a posição da barreira fotoelétrica.*
22. Meça e registre as posições de bloqueio e desbloqueio,  $x_{(-)}$  e  $x_{(+)}$ , do feixe luminoso, procedendo como explicado no início desta secção (PRODEDIMENTO). O contador deve ser operado no modo GATE e com a resolução de 0,1 ms.
23. Obtenha o comprimento  $L = x_{(+)} - x_{(-)}$  do objeto interceptador.
24. O que se pretende nesta parte do experimento é obter a dependência *velocidade versus distância percorrida*, tendo a partícula partido do repouso. Para tanto, o carrinho deslizante será liberado a partir do repouso de diversas posições ao longo do trilho, medindo-se em cada movimento sua velocidade final (isto é, quando o mesmo intercepta o feixe de luz da barreira fotoelétrica). A distância  $d$  percorrida pelo carrinho pode ser obtida através da relação

$$d = \frac{x_{(+)} + x_{(-)}}{2} - x,$$

onde  $x$  é a posição inicial (de liberação). Observe que a velocidade média do carrinho entre os instantes de bloqueio e desbloqueio do feixe luminoso, fornecida pela relação  $v = L / \Delta t$ , pode ser tomada como uma boa aproximação da velocidade instantânea do carrinho na posição  $(x_{(+)} + x_{(-)}) / 2$  (a média das posições de bloqueio e desbloqueio), desde que o comprimento do objeto interceptador seja suficientemente pequeno. Selecione pelo menos dez posições de liberação  $x$  regularmente espaçadas e, para cada uma delas, meça e registre o valor correspondente do tempo de intercepção  $\Delta t$  indicado pelo contador de tempo.

### Segundo Movimento- Carrinho Pesado

25. Agora é nosso interesse determinar experimentalmente a dependência velocidade versus distância percorrida para para um carrinho mais pesado, mantendo-se as demais condições inalteradas (a inclinação do trilho, por exemplo). O objetivo é se descobrir uma possível influência da massa no movimento da partícula. Para aumentar a massa do carrinho adapte massas adicionais de igual valor em cada lado do carrinho.
26. Repita o procedimento do item 24 para o carrinho mais pesado.
27. Complete a tabela da folha de resultados, calculando os valores de  $d$  e  $v$ , para cada um dos casos investigados (carrinho leve e carrinho pesado).

28. Construa para cada um desses casos um gráfico  $v^2$  versus  $d$ .
29. Que tipo de movimento as curvas experimentais obtidas acima sugerem?

Teoricamente, o movimento estudado é um movimento com aceleração constante, isto porque a força resultante que atua sobre o carrinho é um componente de seu peso, que é uma constante (aqui estamos desprezando a força de atrito). Se esta avaliação está correta ou não, apenas o resultado do experimento pode dizer. Se a aceleração do carrinho for realmente constante, então a velocidade  $v$  do mesmo deve depender quadraticamente da distância percorrida  $d$ . Você deverá testar esta hipótese fazendo um ajuste da curva experimental, propondo uma curva de ajuste que seja descrita por uma dependência linear de  $v^2$  com  $d$  (isto é, uma reta) e observando a qualidade do ajuste.

30. Com o auxílio de um programa apropriado, e para cada um dos casos investigados (carrinho leve e carrinho pesado) obtenha um ajuste da curva experimental  $v^2$  versus  $d$  e identifique os parâmetros de ajuste que forneçam a aceleração do carrinho. Obtenha um valor para a aceleração  $a$  bem como para a incerteza  $\Delta a$  associada à mesma.
31. Obtenha  $\sin\theta$  (acompanhado de sua incerteza), onde  $\theta$  é a inclinação do trilho.
32. Um exercício interessante neste experimento é obter o valor da aceleração da gravidade  $g$ . Isto pode ser feito tendo em mente a relação teórica  $a = g \sin \theta$ . Obtenha então valores para  $g$ , a partir dos valores de aceleração obtidos em cada um dos casos. Avalie também as incertezas  $\Delta g$  no valores assim obtidos, tendo em conta a propagação de erros na relação acima.
33. Como você compara as medidas de  $g$ , obtidas segundo cada um dos movimentos investigados (carrinho leve e carrinho pesado)? Os resultados confirmam a teoria? Explique.

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

### *Experimento: Movimento em Uma Dimensão*

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

COMPONENTES DO GRUPO

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

#### MOVIMENTO EM UM PLANO HORIZONTAL SEM ATRITO

Posições de interceptação do feixe de luz:	$x_{(-)} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}, \quad x_{(+)} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
Comprimento efetivo do objeto interceptador:	$L = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
Intervalos de tempo de interceptação indicados pelos contadores:	$\Delta t_1 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ s}, \quad \Delta t_2 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ s}, \quad \Delta t_3 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ s}$
Velocidades do carrinho deslizando ao longo do plano:	$v_1 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}, \quad v_2 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}, \quad v_3 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}$





***Movimento em Uma Dimensão - Resultados de um certo experimento***

MOVIMENTO EM UM PLANO INCLINADO SEM ATRITO

Altura do calço:	$h = (20,90 \pm 0,03) \text{ mm}$
Distância horizontal entre pontos de apoio:	$D = (1000,0 \pm 0,5) \text{ mm}$
Inclinação do plano:	$\text{sen } \theta = (0,02090 \pm 0,00004)$
Posições de interceptação do feixe de luz:	$x_{(-)} = (1746,7 \pm 0,5) \text{ mm}, \quad x_{(+)} = (1756,7 \pm 0,5) \text{ mm}$
Comprimento efetivo do objeto interceptador:	$L = (10 \pm 1) \text{ mm}$

Dependência Velocidade com Distância Percorrida

$\Delta m = 0$				$\Delta m = (101 \pm 1) \text{ g}$			
$x \text{ (mm)}$	$\Delta t \text{ (s)}$	$d \text{ (mm)}$	$v \text{ (mm / s)}$	$x \text{ (mm)}$	$\Delta t \text{ (s)}$	$d \text{ (mm)}$	$v \text{ (mm / s)}$
300,0	0,0128			300,0	0,0131		
400,0	0,0137			400,0	0,0136		
500,0	0,0142			500,0	0,0141		
600,0	0,0148			600,0	0,0147		
700,0	0,0155			700,0	0,0154		
800,0	0,0163			800,0	0,0161		
900,0	0,0171			900,0	0,0171		
1000,0	0,0183			1000,0	0,0182		
1100,0	0,0196			1100,0	0,0193		
1200,0	0,0210			1200,0	0,0208		
1300,0	0,0235			1300,0	0,0231		
1400,0	0,0266			1400,0	0,0265		
1500,0	0,0303			1500,0	0,0312		

Obtenção do Ajuste  $v^2 = A + B d$  e da Aceleração da Gravidade  $g$

$\Delta m = 0$	$\Delta m = (101 \pm 1) \text{ g}$
$A = (277,20857 \pm 6904,81584) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2,$ $B = (401,33402 \pm 7,42242) \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$	$A = (6232,14668 \pm 2063,72679) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2,$ $B = (396,63458 \pm 2,21843) \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$
$g = (9,6 \pm 0,2) \text{ m/s}^2$	$g = (\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_) \text{ m/s}^2$

Movimento de carrinhos deslizantes (leve - pontos quadrados e pesado ( $\Delta m = 101 \text{ g}$ ) - pontos circulares) em tribo de ar inclinado ( $\text{sen}\theta = (2,090 \pm 0,004) \times 10^{-2}$ ).

