

# CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

## **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
  - um contador de tempo com detecção fotoelétrica (PASCO ME-9215A) acoplado a barreira fotoelétrica acessória (PASCO ME-9204A)
  - dois adaptadores para parada, dois adaptadores para colisão, uma bandeira
  - um calço para inclinação de trilho
  
- uma trena milimetrada
- um paquímetro

**Objetivo do Experimento:** Determinar a evolução da energia mecânica de uma partícula sujeita a atrito mínimo, que se move com variação de sua posição vertical, e verificar quantitativamente a transformação da energia mecânica gravitacional em energia cinética.

---

## INTRODUÇÃO

Neste experimento investigaremos a evolução da energia mecânica de uma partícula em movimento unidimensional, minimizando-se a ação do atrito sobre a mesma. Aqui esta situação será obtida fazendo um carrinho deslizando (a partícula) movimentar-se sobre um trilho de ar.

Para obter uma transformação de energia, o trilho de ar é inclinado, de forma que, após ser liberado a partir do repouso, o carrinho tem, gradualmente, sua energia cinética aumentada e sua energia potencial gravitacional diminuída. Basicamente o que se quer obter neste experimento é comparar o aumento de energia cinética com o decréscimo de energia potencial gravitacional, entre duas posições ao longo do trilho.

Para medição de posições e velocidades em dois pontos distintos do trilho, é conveniente fazer uso de um contador de tempo por detecção fotoelétrica e duas barreiras fotoelétricas, uma solidária ao contador e outra acessória, a serem posicionadas nesses pontos (veja Fig. 1.).

Especificamente com relação à medição de velocidade, o contador de tempo deve ser operado no modo GATE e com a função memória ligada. No modo GATE o contador registra o intervalo de tempo durante o qual o feixe de luz de uma dada barreira fotoelétrica é interceptado, de forma a fornecer a velocidade média do objeto interceptador, dada pela razão entre o comprimento deste e o tempo de interceptação do feixe de luz. Na prática, desde que o comprimento do objeto interceptador possa ser considerado suficientemente pequeno nas condições do experimento, a velocidade média assim determinada pode ser considerada uma boa aproximação da velocidade instantânea no início do intervalo de interceptação. A escolha da função memória permite que o contador registre os intervalos de interceptação de ambas as barreiras fotoelétricas.

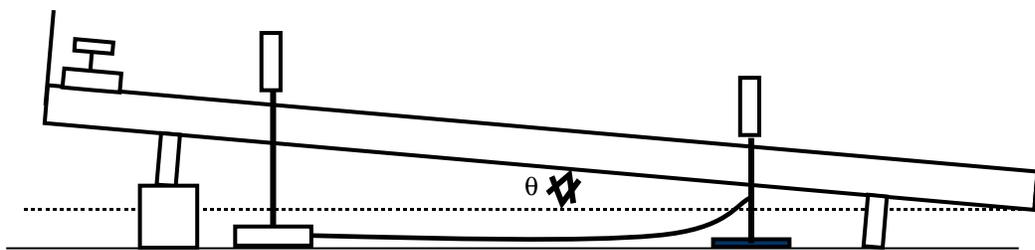


Figura 1 – Representação esquemática da montagem para o experimento da conservação da energia mecânica num trilho inclinado.

## PROCEDIMENTO

### Observações:

- (a) Para efeito de medição da velocidade do objeto interceptador 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.
- (b) Neste experimento, o contador de tempo 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  $\Delta t_2$ .
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 bandeira 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, sobre o 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.
8. 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, por exemplo).
9. 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).
10. Meça e registre a altura  $h$  do calço selecionado, com um paquímetro.
11. Utilizando o calço selecionado, incline o trilho de ar.
12. Posicione o contador de tempo mais próximo da extremidade do trilho de onde o carrinho será liberado e a barreira fotoelétrica acessória mais próxima da outra extremidade do trilho e ajuste a posição e orientação de ambas as barreiras fotoelétricas de tal forma que o feixe de luz (ao longo da linha fonte-detector) tenha uma altura adequada para interceptar a bandeira e esteja orientado perpendicularmente ao trilho. *É absolutamente necessário, a partir deste ponto e durante a realização do experimento, não modificar as posições das barreiras fotoelétricas.*
13. Conecte a barreira fotoelétrica acessória ao contador de tempo e ligue este. Selecione o modo de operação GATE, resolução de 0,1 ms, e função memória ligada (chave MEMORY na posição ON).
14. Meça e registre as posições de bloqueio e desbloqueio,  $x_{(-)}$  e  $x_{(+)}$ , do feixe luminoso de qualquer uma das barreiras fotoelétricas, procedendo como explicado no início desta seção (PROCEDIMENTO).
15. Obtenha o comprimento  $L = x_{(+)} - x_{(-)}$  da bandeira.
16. Meça e registre as posições de bloqueio  $x_1$  e  $x_2$ , do feixe luminoso da barreira fotoelétrica associada ao contador de tempo e da barreira fotoelétrica acessória, respectivamente, procedendo como explicado no início desta seção (PROCEDIMENTO).
17. Calcule e registre a distância  $d = x_2 - x_1$  entre as barreiras fotoelétricas.

18. Ligue o gerador de fluxo de ar e ajuste o fluxo aproximadamente para o valor utilizado no processo de nivelamento do trilho.
19. Zere o indicador de tempo do contador.
20. Libere o carrinho a partir da extremidade do trilho.
21. Registre os intervalos de tempo  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$  de bloqueio da barreira fotoelétrica solidária ao contador de tempo e da barreira fotoelétrica acessória, respectivamente, conforme explicado no início desta secção (PROCEDIMENTO).
22. Liberando o carrinho sempre a partir do mesmo ponto no trilho, repita as medições dos intervalos de tempo  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$  pelo menos outras quatro vezes e obtenha os valores médios  $\overline{\Delta t_1}$  e  $\overline{\Delta t_2}$  (acompanhado de seus desvios).
23. Reduza ao mínimo o fluxo de ar e desligue o gerador.
24. Calcule as velocidades  $v_1$  e  $v_2$  do carrinho nas posições das duas barreiras fotoelétricas, através do cálculo  $v = L / \overline{\Delta t}$ .
25. Calcule, a partir da distância  $D$  entre as bases de apoio e da altura  $h$  do calço,  $\text{sen}\theta$ , onde  $\theta$  é a inclinação do plano inclinado.
26. Calcule então o desnível  $\Delta y = d \text{sen}\theta$  experimentado pelo carrinho ao passar pelas duas barreiras fotoelétricas.
27. Meça e registre a massa  $m$  do carrinho.
28. Calcule o decréscimo de energia potencial gravitacional  $\Delta E_P = m g \Delta y$  e o aumento de energia cinética  $\Delta E_C = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$  experimentado pelo carrinho.
29. Compare  $\Delta E_P$  e  $\Delta E_C$ .

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

### *Experimento: Conservação da Energia Mecânica*

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

COMPONENTES DO GRUPO

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

#### DADOS SOBRE O TRILHO DE AR E SISTEMA DE DETECÇÃO FOTOELÉTRICA

Altura do calço:	$h = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
Distância horizontal entre pontos de apoio:	$D = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
Inclinação do trilho:	$\text{sen } \theta = (\text{_____} \pm \text{_____})$
Posições de início de bloqueio e desbloqueio do feixe de luz de uma dada barreira fotoelétrica:	$x_{(-)} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}, \quad x_{(+)} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
Comprimento efetivo da bandeira:	$L = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$

## DADOS SOBRE O MOVIMENTO DO CARRINHO

Posições de início de bloqueio das duas barreiras fotoelétricas:	$x_1 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$ , $x_2 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$
--	---

Intervalos de tempo de interceptação indicados pelos contadores:

$\Delta t_1$ (s)						$\overline{\Delta t_1} = (\text{_____} \pm \text{_____})$ s
$\Delta t_2$ (s)						$\overline{\Delta t_2} = (\text{_____} \pm \text{_____})$ s

Velocidades do carrinho deslizando ao longo do plano:

$$v_1 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}, \quad v_2 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}$$

## BALANÇO ENERGÉTICO

Massa do carrinho:  $m = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$

Diminuição da energia potencial gravitacional:  $\Delta E_P = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ J}$

Aumento da energia cinética:  $\Delta E_C = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ J}$

### Dados obtidos num certo experimento

#### DADOS SOBRE O TRILHO DE AR E SISTEMA DE DETECÇÃO FOTOELÉTRICA

Altura do calço:	$h = (20,80 \pm 0,03) \text{ mm}$
Distância horizontal entre pontos de apoio:	$D = (1000,3 \pm 0,6) \text{ mm}$
Inclinação do trilho:	$\text{sen } \theta = (0,02080 \pm 0,00004)$
Posições de início de bloqueio e desbloqueio do feixe de luz de uma dada barreira fotoelétrica:	$x_{(-)} = (454,5 \pm 0,5) \text{ mm}, \quad x_{(+)} = (552,5 \pm 0,5) \text{ mm}$
Comprimento efetivo da bandeira:	$L = (98 \pm 1) \text{ mm}$

#### DADOS SOBRE O MOVIMENTO DO CARRINHO

Posições de início de bloqueio das duas barreiras fotoelétricas:	$x_1 = (464,2 \pm 0,5) \text{ mm}, \quad x_2 = (1564,7 \pm 0,5) \text{ mm}$
--	---

Intervalos de tempo de interceptação indicados pelos contadores:

$\Delta t_1$ (s)	0,2756	0,2813	0,2760	0,2767	0,2762	$\overline{\Delta t_1} = (0,277 \pm 0,002) \text{ s}$
$\Delta t_2$ (s)	0,1302	0,1324	0,1304	0,1304	0,1303	$\overline{\Delta t_2} = (0,1307 \pm 0,0006) \text{ s}$

Velocidades do carrinho deslizando ao longo do plano:

$$v_1 = (354 \pm 6) \times 10^{-3} \text{ m/s}, \quad v_2 = (75 \pm 1) \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

#### BALANÇO ENERGÉTICO

Massa do carrinho:  $m = (190 \pm 1) \text{ g}$

Diminuição da energia potencial gravitacional:  $\Delta E_p = (4,26 \pm 0,03) \times 10^{-2} \text{ J}$

Aumento da energia cinética:  $\Delta E_c = (4,2 \pm 0,2) \times 10^{-2} \text{ J}$