

## Experimento A3

### Segunda Lei de Newton

#### INTRODUÇÃO

As formulações dadas por Newton das leis do movimento parecem simples e carregadas de pouca complexidade matemática. Entretanto, envolvem definições, observações da natureza, conceitos intuitivos e algumas propriedades do espaço e do tempo.

As leis de Newton foram expostas primeiramente em seu trabalho “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, em 1687 [1]. Deste trabalho é interessante notar 3 Axiomas, ou leis do movimento.

- Primeira Lei – “Todo corpo continua em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele.”;
- Segunda Lei - “A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é aplicada.”;
- Terceira Lei - “A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade: as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos.”

A descrição do movimento requer o uso de um sistema de coordenadas particular. A pergunta natural que surge é então sobre a existência de algum sistema de referência preferencial (“observador do movimento”). Com efeito, as leis da mecânica newtoniana são formuladas em referenciais chamados inerciais. Os referenciais inerciais formam uma classe de referenciais que se movem uns em relação ao outro com velocidade constante.

A segunda lei de Newton é o princípio fundamental da dinâmica; ela permite determinar como um sistema evolui na Mecânica Clássica. A formulação geral da segunda lei, como expressa originalmente por Newton, é:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1)$$

onde  $\vec{F}$  é a força resultante e  $\frac{d\vec{p}}{dt}$  é a variação do momento linear  $\vec{p}$  com respeito ao tempo  $t$ .

É importante notar que tanto a força como o momento linear são vetores, podendo ser dados em quaisquer coordenadas desde-que as mesmas sejam inerciais. A força resultante, por sua vez, é a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo.

A equação (1) se reduz à conhecida forma para a força resultante sobre um sistema de **massa constante**:

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

Ou seja, sob a ação de uma força resultante, um corpo de massa constante adquire uma aceleração cuja intensidade é inversamente proporcional a sua massa. Veja que esta é uma equação vetorial. Assim, a aceleração adquirida pelo corpo é ao longo da linha de atuação do vetor força resultante.

A partir desta definição, temos que se dois corpos de massas diferentes forem submetidos a mesma força ( $\vec{F}$ ), a razão entre as acelerações adquiridas por estes corpos estará na mesma proporção do inverso da razão de suas massas, ou seja:

$$|\vec{F}| = M|\vec{a}_1| = m|\vec{a}_2| \quad (3)$$

$$\frac{M}{m} = \frac{|\vec{a}_2|}{|\vec{a}_1|} \quad (4)$$

Considere dois corpos de massa  $m_1$  e  $m_2$  ligados entre si por um fio inextensível, de massa desprezível, como mostrado na Figura 1. O carrinho de massa  $m_1$  está levitando sobre o trilho de ar preso por um fio de massa desprezível a um corpo de massa  $m_2$ . Note que, cada retângulo tracejado contém a fórmula da aplicação da Equação (4) para os corpos que estão contidos neles.

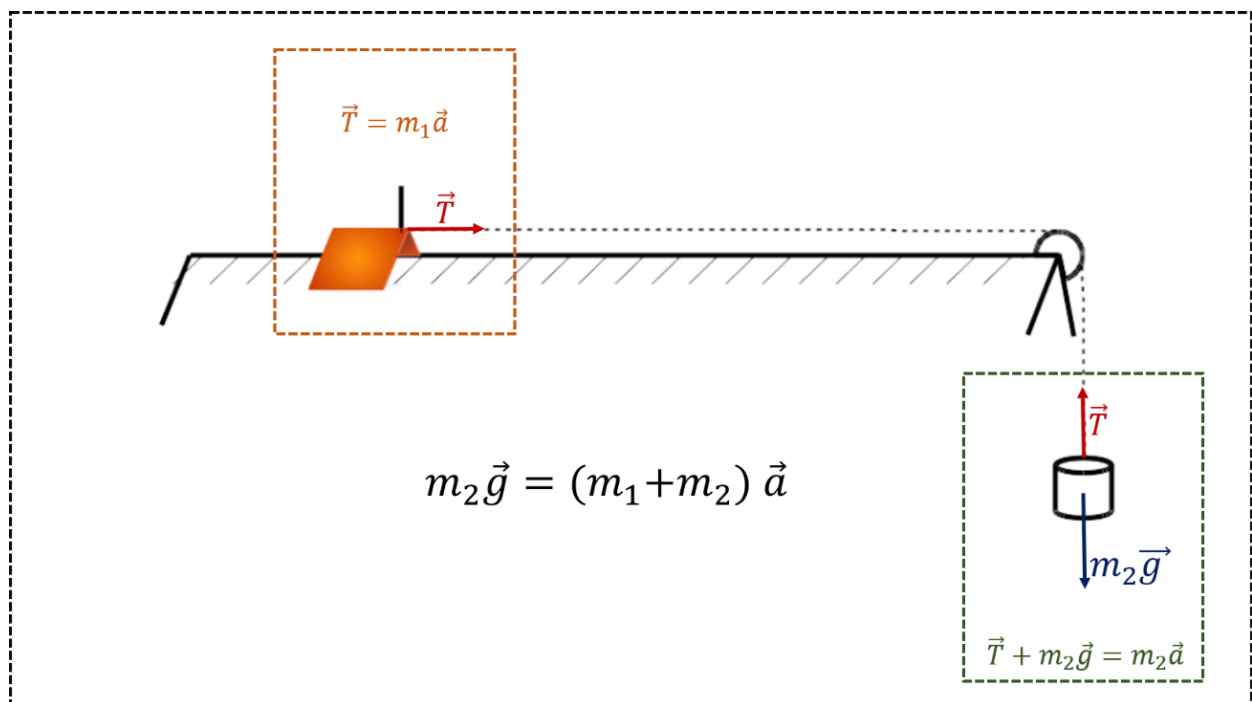


Figura 1 - Esquema de montagem do experimento para estudar a Segunda Lei de Newton

Note que, a aceleração do sistema composto das massas  $m_1$  e  $m_2$  é dada por:

$$a_1 = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} g \quad (5)$$

onde  $g = \left(9,8 \pm 0,1 \frac{m}{s^2}\right)$  é a aceleração da gravidade adotada no laboratório.

Agora, se a massa do carrinho da Figura 1 for alterada para  $m_3$ , mantida a massa  $m_2$  do corpo suspenso, teremos:

$$a_3 = \frac{m_2}{(m_3 + m_2)} g \quad (6)$$

	Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Roteiro de Física Experimental	<b>Disciplinas</b> FIS 09057      FIS 09058 FIS 06326      FIS 13737
---	---	--

Portanto, se fizermos a razão entre as acelerações adquiridas pelas massas  $m_1$  e  $m_3$ , teremos:

$$\frac{a_3}{a_1} = \frac{(m_1 + m_2)}{(m_3 + m_2)} \quad (7)$$

ou seja, a equação 7 mostra que é inversamente proporcional as massas envolvidas.

## OBJETIVOS

- Verificar que a aceleração adquirida por um corpo sujeita a uma força constante é inversamente proporcional à massa do corpo.
- Constatar que na ausência de atrito a aceleração do sistema em movimento, medida indiretamente através da linearização de um gráfico de  $x(t) \times t^2$  é igual a obtida pela relação entre as massas (Equação (5)).
- Mostrar que a razão entre as acelerações obtidas dos gráficos  $x(t) \times t^2$  para duas massas diferentes do cavalete é proporcional a razão inversa das massas. Fazer o cálculo também com a correção da massa da polia ( $m_p = (82,0 \pm 0,1)g$ ), (Equação (6)).
- Obtenha o valor da aceleração da gravidade utilizando a Equação 5.

## MATERIAIS UTILIZADOS

- Trilho de ar com unidade geradora de fluxo (compressor de ar);
- 01 cavalete.
- Massas acopláveis
- 01 gancho;
- Uma régua obturadora de luz;
- 01 fio inextensível de massa desprezível;
- Multicronômetro digital e cinco sensores fotoelétricos;

## ANTES DA AULA

Recomenda-se a leitura de pelo menos umas das referências abaixo, que apresenta as discussões sobre a segunda lei de Newton que será explorada nesta atividade experimental.

- ✓ HALLIDAY, RESNICK & WALKER, **Fundamentos de Física**, Vol. 1, 10<sup>a</sup> edição, LTC..
- ✓ SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, **Física 1, Mecânica**, Vol. 1, 12<sup>a</sup> LTC..

Em seguida, responda as perguntas abaixo. Elas deverão ser apresentadas ao professor antes de iniciar a aula. **Atenção:** A não apresentação das respostas impedirá o aluno de participar da aula.

**Questão 1)** Descreva com suas palavras as três Leis de Newton para o movimento.

**Questão 2)** Como o sistema não tem atrito, explique porque a aceleração de queda do objeto é diferente da aceleração da gravidade.

**Questão 3)** Por que a Tensão não aparece na Equação 5?

**Questão 4)** Por que o movimento deste sistema pode ser considerado unidimensional? Qual o efeito da Polia?

	<p>Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Roteiro de Física Experimental</p>	<p><b>Disciplinas</b> FIS 09057      FIS 09058 FIS 06326      FIS 13737</p>
---	--	---

**Questão 5)** Desenhe o diagrama de forças do sistema e demonstre a Equação 5. Encontre uma expressão para tensão envolvendo as massas  $m_1$  e  $m_2$ .

## DURANTE A AULA

Para a execução do experimento, siga o passo a passo descrito no procedimento experimental a seguir

### → ORIENTAÇÕES

- Nunca movimente os carrinhos sobre o trilho sem que o gerador de fluxo de ar esteja funcionando. Isso pode provocar arranhões na superfície do trilho;
- Tenha cuidado com o equipamento. Uma queda de alguns centímetros pode inutilizar o carrinho;
- Sempre coloque os carrinhos sobre a espuma localizada sobre a bancada;
- Nivelamento do sistema: Use o nível de bolha mostrado na Figura 2 (cuidado para não arrANHAR o trilho) para fazer um primeiro nivelamento. Agora, com o compressor ligado posicione o carrinho no centro do trilho e próximo do nível de bolha. Verifique que ele permanece em “quase” repouso. Se necessário ajuste o trilho para obter o máximo possível de repouso. Vocês saberiam dizer o porquê do carrinho não permanece em repouso absoluto?
- O movimento sempre iniciará do lado oposto a roldana.
- Leiam o manual de funcionamento do multicronômetro e os procedimentos para leitura dos dados.



**Figura 2** - Montagem para alinhamento do trilho, utilizando carrinho e suporte com nível de bolha.

### → PROCEDIMENTO

- Meça as massas envolvidas no experimento  $m$  (massa do gancho),  $m_{2a}$  (massa do carrinho) e  $m_{2b}$  (massa do carrinho + massas acopláveis) e anote na folha de dados.
- Monte o sistema como mostrado na Figura 1 pendurando apenas o gancho no fio de nylon e passe pela roldana. As massas usadas neste caso serão:  $m$  e  $m_{2a}$ . **Certifique-se de que a roldana esteja presa, sem poder girar, e de que o fio não está interferindo nos sensores.**

- (iii) O fio deve estar preso na parte inferior a mola do carrinho e passar entre as grades do trilho de ar (Ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

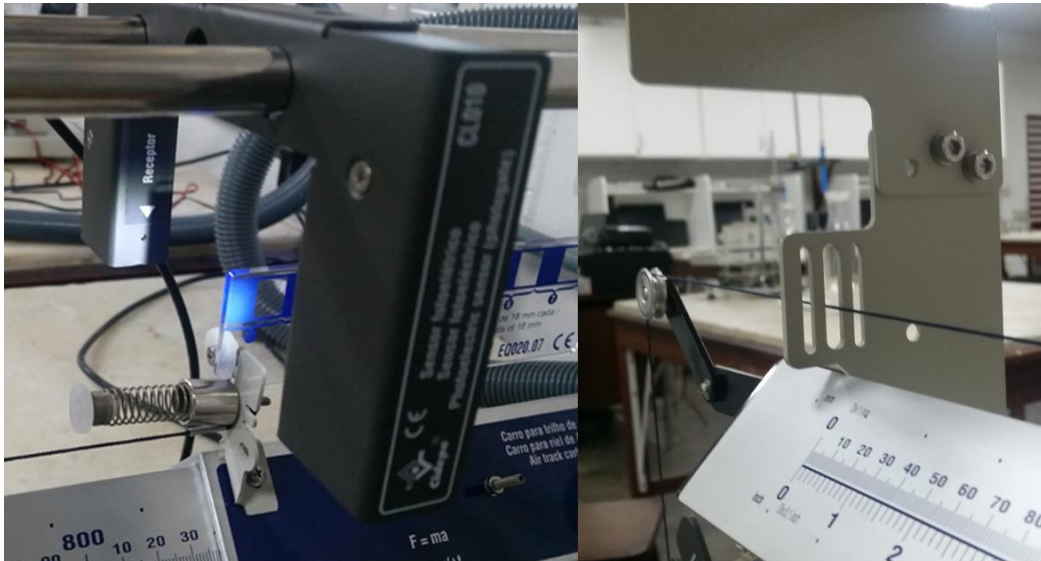


Figura 3 - (a) Carrinho preso por um fio inextensível de massa desprezível na eminência de acionar o sensor fotoelétrico; (b) Fio atravessando a grade do trilho e passando pela roldana.

- (iv) Posicione o sensor  $S_0$  próximo a sombra criada pela régua obturadora. **Obs: posicione os sensores fotoelétricos de forma que o carrinho possa atravessá-los sem nenhuma influência externa;**
- (v) A partir do sensor  $S_0$ , posicione os sensores restantes afastados de 15 cm do seu adjacente;
- (vi) Verifique se os cabos dos cinco sensores estão ligados nos canais  $S_0$  a  $S_4$  na ordem crescente com o movimento do carrinho. **Obs.: Ao religar os cabos faça um “reset” no sistema.**
- (vii) Selecione a Função F1 – Tempo de passagem entre os 5 sensores. Esta função mede o intervalo de tempo para o movimento entre sensores adjacentes.
- (viii) Com o compressor ligado e assegurando que o carrinho esteja na iminência do movimento, libere o carrinho para que entre em movimento.
- (ix) Acesse TODOS OS TEMPOS de passagem entre sensores adjacentes registrados no multicronômetro e anote na Tabela 1.
- (x) Repita o procedimento (viii) e (ix) 10 vezes.
- (xi) Agora acrescente as massas acopláveis ao carrinho ( $m_{2b} = \text{carrinho} + \text{massa acoplável}$ ). Repita todo o procedimento anterior. Anote os dados na Tabela 2.

## APÓS A AULA

Após a coleta de dados, deve-se escrever o relatório. Inicie as atividades a seguir, caso sobre tempo na aula. A escrita do relatório deve ser feita seguindo o modelo disponibilizado. No tópico de **Análises e Discussões** do seu relatório, você deve responder e discutir os seguintes pontos:

- (a) Calcule o tempo médio de passagem nos sensores  $\bar{t}$  e o quadrado do tempo médio  $\bar{t}^2$  e suas incertezas ( $\Delta\bar{t}$  e  $\Delta\bar{t}^2$ ) para as duas massas  $m_{2a}$  e  $m_{2b}$ .
- (b) Construa a Tabela 3 contendo a posição e o  $\bar{t}^2$ .
- (c) Com os dados da Tabela 3, faça os gráficos da posição versus tempo  $\bar{t}^2$  e trace a reta que melhor se ajusta a esses pontos para cada massa.

- (d) Obtenha os coeficientes linear e angular dessas retas, com suas respectivas incertezas. Qual é a interpretação para os coeficientes angulares dessas retas? Considere  $v_0 = 0 \text{ m/s}$  e  $x_0 = 0 \text{ m}$ .  
**Por que se pode fazer essas considerações?**
- (e) Com os valores obtidos anteriormente, obtenha os valores das acelerações. Compare esses resultados com os obtidos utilizando a Equação 5 e 6.
- (f) Obtenha a relação  $\frac{a_{2a}}{a_{2b}}$  e compare com o valor teórico. O que você conclui?
- (g) Verifique se o valor da aceleração da gravidade obtida através da Equação 5 para os dados experimentais dos dois procedimentos são iguais ao adotado no laboratório.
- (h) Calcule o valor da Tensão no cabo de nylon para os dois procedimentos.

## REFERÊNCIA

[1] Newton, Isaac. Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural-Livro I, 2. ed., 3. reimpr.-São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

## Folha de dados Experimento A<sub>3</sub>

### Segunda Lei de Newton

**Professor:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Alunos:** \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Tabela 1: Tempo de passagem através dos cinco Sensores separados entre si ( $d = \text{____} \pm \text{____} \text{ cm}$ ).  
As massas do carrinho, do suporte e do suporte com a massa acoplável foram  $m = (\text{____} \pm \text{____}) \text{ g}$  e  $m_{2a} = (\text{____} \pm \text{____}) \text{ g}$ .

N	$t_1$ tempo de passagem pelo sensor 1 (s)	$t_2$ tempo de passagem pelo sensor 2 (s)	$t_3$ tempo de passagem pelo sensor 3 (s)	$t_4$ tempo de passagem pelo sensor 4 (s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabela 1: Tempo de passagem através dos cinco Sensores separados entre si ( $d = \text{____} \pm \text{____} \text{ cm}$ ).  
As massas do carrinho, do suporte e do suporte com a massa acoplável foram  $m = (\text{____} \pm \text{____}) \text{ g}$  e  $m_{2b} = (\text{____} \pm \text{____}) \text{ g}$ .

N	$t_1$ tempo de passagem pelo sensor 1 (s)	$t_2$ tempo de passagem pelo sensor 2 (s)	$t_3$ tempo de passagem pelo sensor 3 (s)	$t_4$ tempo de passagem pelo sensor 4 (s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				