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. Antes da mecânica Newtoniana, o sistema aceito por centenas de anos era o de Aristóteles, seu sucesso se deve ao fato de que institivamente parece coerente, em um nível superficial. 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 aos outros com velocidade constante. O conceito de velocidade é relativo e não pode ser usado para definir o movimento de maneira geral pois para um corpo isolado é sempre possível encontrarmos um novo referencial no qual ele se move uniformemente. Esse é o conteúdo da Primeira Lei de Newton ou também chamado princípio de relatividade de Galileu:

"Quando qualquer influência externa sobre a partícula é removida, esta deve mover-se com velocidade constante. Em particular quando essa velocidade é nula dizemos que a partícula está em repouso."

Na verdade, o conteúdo físico da Primeira Lei é exatamente que existem referenciais inerciais. A mera existência desses referenciais é não trivial. Podemos resumir esta lei em termos da LEI DA INÉRCIA: existe na natureza uma classe única de referenciais que se movem uns com respeito aos outros com velocidade constante (referenciais inerciais) para os quais vale a primeira lei.
Consideremos agora o caso em que há interação e a partícula não está mais isolada. Quando a interação acontece o movimento das partículas muda de forma absoluta, i.e., independentemente do referencial. Isso significa que a velocidade muda e, portanto, a aceleração observada é absoluta. As seguintes observações são verdades em fenômenos explicados pela Mecânica Newtoniana: quando duas partículas 1 e 2, interagem mutuamente, observa-se que se 1 produz em 2 uma aceleração $\vec{a}_{21}$ então 1 sente de 2 uma aceleração $\vec{a}_{12}$ e

(i) essas acelerações têm direções opostas e são paralelas à linha reta que une as partículas;

(ii) a razão $|\vec{a}_{21}|/|\vec{a}_{12}|$ é constante, independentemente da natureza da interação, das posições e velocidades das partículas;

Observamos que, apesar da interação entre as partículas ser idêntica, as acelerações são distintas. Atribuímos isso à uma propriedade intrínseca das partículas que chamamos massa inercial. A massa inercial de cada partícula é uma medida numérica de sua relutância à mudança do estado de movimento. Definimos a razão entre as massas inerciais m_1 e m_2, das partículas 1 e 2 como

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{|a_{21}|}{|a_{12}|} \qquad (1)$$

Então definimos que a partícula 1 altera o movimento da partícula 2 pois exerce sobre ela uma força $\vec{F}_{21}$; analogamente a partícula 2 altera o movimento da partícula 1 pois exerce sobre ela uma força $\vec{F}_{12}$. Podemos deduzir que a força está relacionada com a massa da partícula e sua aceleração da seguinte forma:

$$\vec{F}_{12} = m_1\vec{a}_{12} \quad \text{e} \quad \vec{F}_{21} = m_2\vec{a}_{21} \tag{2}$$

como as acelerações $\vec{a}_{12}$ e $\vec{a}_{21}$ são paralelas à linha reta que une as partículas e como são opostas em sentido, temos que

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{3}$$

Dessas observações podemos enunciar a Segunda Lei de Newton:

"A força resultante sobre um corpo de massa m é dada pelo produto entre essa massa e a aceleração sofrida pelo corpo. Essa força é paralela à a aceleração, i.e., portanto, fornece a direção da mudança de velocidade",

$$\vec{F} = m\vec{a} \tag{4}$$

Considere dois corpos de massa m_1 e m_2 ligados entre si por um fio inextensível, de massa desprezível, passando por uma polia fixa de massa também desprezível, como mostrado na Figura 1. O carrinho de massa m_2 está levitando sobre o trilho de ar e ligado 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.

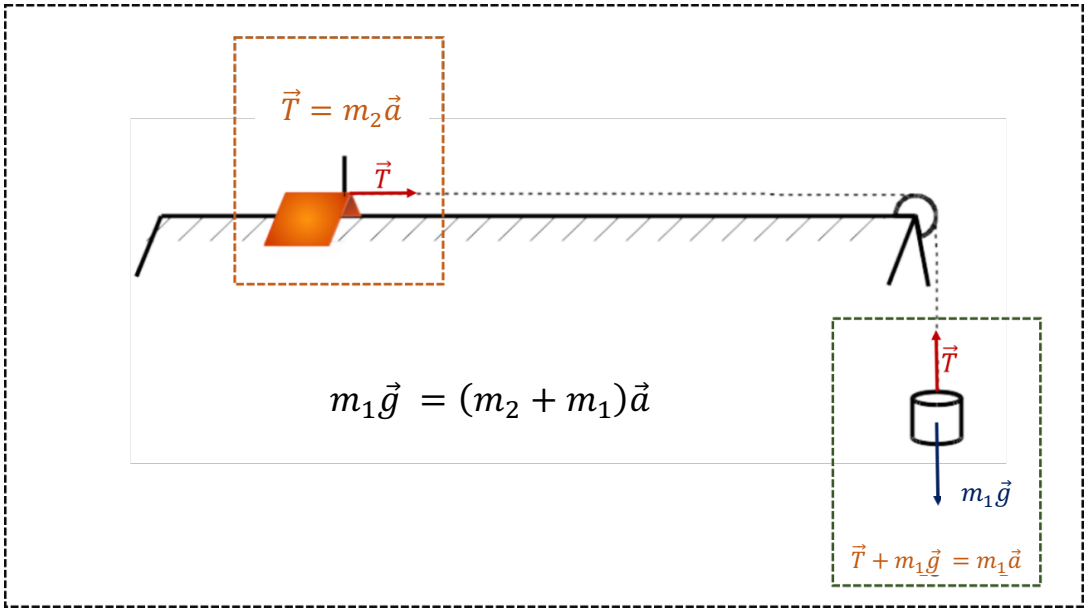

Figura 1 - Esquema de montagem do experimento para estudar a Segunda Lei de Newton

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

$$a = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} g \qquad (5)$$

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

Embora nenhuma polia real se enquadre na suposição acima, ela é bastante válida em diversos sistemas e sua utilização também se justifica pelo fato de que normalmente a massa da polia é bem menor que as demais massas envolvidas além do fato dela ser fixa, o que dificulta a medida de sua massa. Mas então, o que fazer quando a polia não pode ser aproximada por uma polia ideal? A Segunda Lei deixa de ser válida? Ela continua válida desde que se leve em conta a rotação e a massa da polia. Pode-se mostrar que ao levarmos em consideração esta rotação, a aceleração será dada por:

$$a' = \frac{m_1}{\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2} m_p\right)} g \qquad (6)$$

onde m_p é a massa da polia

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

(i) Trilho de ar com unidade geradora de fluxo (compressor de ar);
(ii) 01 cavalete.
(iii) Massas acopláveis
(iv) 01 suporte para acoplar massa;
(v) Uma régua obturadora de luz;
(vi) 01 fio inextensível de massa desprezível;
(vii) 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, 10ª edição, LTC..
- ✓ SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, **Física 1, Mecânica**, Vol. 1, 12ª 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?

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

(i) 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;

(ii) Tenha cuidado com o equipamento. Uma queda de alguns centímetros pode inutilizar o carrinho;

(iii) Sempre coloque os carrinhos sobre a espuma localizada sobre a bancada;

(iv) 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?

(v) O movimento sempre iniciará do lado oposto a roldana.

(vi) Leiam o manual de funcionamento do multicrômetro e os procedimentos para leitura dos dados.

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

→ PROCEDIMENTO

(i) Meça as massas m_1 e m_{2a}(cavalete sem massa acoplável) e anote na folha de dados.

(ii) Monte o sistema como mostrado na Figura 1 pendurando apenas o suporte (sem massa acoplável) no fio de nylon e passe pela polia. Essa será a massa m_1. Certifique-se 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 Figura 3).

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) Com o carrinho montado com o "ferrite" na sua parte traseira, encoste-o na bobina (lembre-se de movimentar o carrinho com o compressor ligado). Posicione o sensor S_0 próximo a sombra criada pela régua obturadora. **Obs: posicione os sensores fotoelétricos de forma que o carrinho possa atravessa-los sem nenhuma influência externa**;

(v) A partir do sensor S_0, posicione os sensores restantes afastados de 15 cm do seu adjacente. **Obs.: estime qual a incerteza na posição do sensor. Anote esse valor**

(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 encoste o carrinho na bobina. Segure o botão que aciona a bobina e verifique se o Multicronômetro está "zerado". **Obs.: Não segure o botão da bobina por mais de 15 s**.

(ix) Solte o botão que aciona a Bobina permitindo que o carrinho entre em movimento.

(x) Leia TODOS OS TEMPOS de passagem entre sensores adjacentes registrados no Multicronômetro e anote na Tabela 1.

(xi) Repita o procedimento (ix), (x) e (xi) 10 vezes.

(xii) Acople duas massas ao cavalete (agora m_{2b} = cavalete + massa acoplável), meça a nova massa do cavalete e 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 AVA da disciplina/ClassRoom (google). 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 tempo médio quadrado $\bar{t}^2$ 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 $v_0 = 0\ m/s$ e $x_0 = 0\ m$. Por que se pode fazer essas considerações?

(e) Com os valores obtidos anteriormente, obtenha os valores das acelerações $a_1 \rightarrow cavalete$ e $a_2 \rightarrow cavalete + massa\ acoplavel$. Compare esses resultados com os obtidos utilizando a Equação 5.

(f) Obtenha a relação $\frac{a_1}{a_2}$ e compare o valor com $\frac{m_{2b}}{m_{2a}}$. 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.

Folha de dados Experimento $A3$

Segunda Lei de Newton

Professor:_____ **Data:** ___/___/___

Alunos:_____, _____, _____

Tabela 1: Tempo de passagem através dos cinco Sensores separados entre si ($d =$ ____ $\pm$ ____)cm). As massas do carrinho, do suporte e do suporte com a massa acoplável foram $m_1 =$ (_____ $\pm$ _____) g e $m_{2a} =$ (_____ $\pm$ _____) g.

N	*t1* tempo de passagem pelo sensor 1 (s)	*t2* tempo de passagem pelo sensor 2 (s)	*t3* tempo de passagem pelo sensor 3 (s)	*t4* 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 ($d =$ ____ $\pm$ ____)cm). As massas do carrinho, do suporte e do suporte com a massa acoplável foram $m_1 =$ (_____ $\pm$ _____) g e $m_{2b} =$ (_____ $\pm$ _____) g.

N	*t1* tempo de passagem pelo sensor 1 (s)	*t2* tempo de passagem pelo sensor 2 (s)	*t3* tempo de passagem pelo sensor 3 (s)	*t4* tempo de passagem pelo sensor 4 (s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				