

# Segunda Lei de Newton

Prof. Responsável: Dra. Leticie Mendonça Ferreira

Material desenvolvido pelo monitor Henrique Barros de Oliveira, sob orientação da profa. Leticie M. Ferreira, no contexto do projeto "Reelaboração do Material Didático das Disciplinas Avançadas de Laboratório de Física".

## 1. Introdução

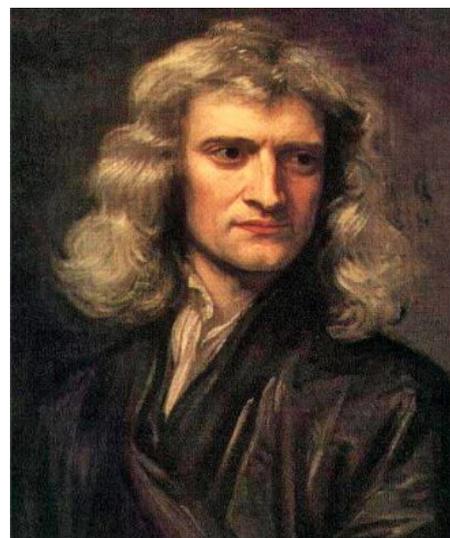
As leis de Newton foram expostas primeiramente em seu trabalho "Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural", em 1687. Deste trabalho é interessante notar 3 Axiomas, ou leis do movimento.

**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."

As leis de Newton são válidas em um referencial inercial!



1 - Newton retratado por Godfrey Kneller, 1689 (com 46 anos de idade).

## Datas Históricas

**04/01/1643**

Nascimento de Newton. Embora muitos acreditem que Newton tenha nascido em 25/12/1642, no Natal, esse engano em parte se deve a uma variação entre os calendários Juliano e Gregoriano.

**05/07/1687**

Newton publica Princípios Matemáticos da Filosofia Natural em sua primeira edição.

**31/03/1727**

Morre aos 84 anos, em Kensington (hoje Londres), Sir Issac Newton.

## 1.1 Segunda Lei - Equacionamento

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.

Com isso em mente, podemos considerar a seguinte equação:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m * \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{dm}{dt} * \vec{v}. \quad (2)$$

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

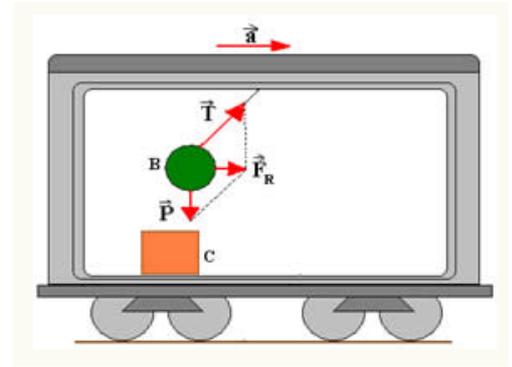
$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (3)$$

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.

Esta é a situação que iremos analisar neste experimento, para o caso particular do movimento retilíneo. Para tanto, a aceleração será determinada a partir da relação da cinemática para o movimento retilíneo uniformemente variado (com aceleração constante), que é descrito por:

$$S = S_0 + V_0t + \frac{at^2}{2}, \quad (4)$$

onde  $S$  é a posição no instante de tempo  $t$ ,  $S_0$  é a posição inicial e  $V_0$  é a velocidade inicial.



2 - Exemplo de um referencial não inercial.

### Informações Relevantes

Para aplicar a mecânica clássica a referenciais não-inerciais é necessário introduzir forças adicionais, conhecidas como pseudoforças.

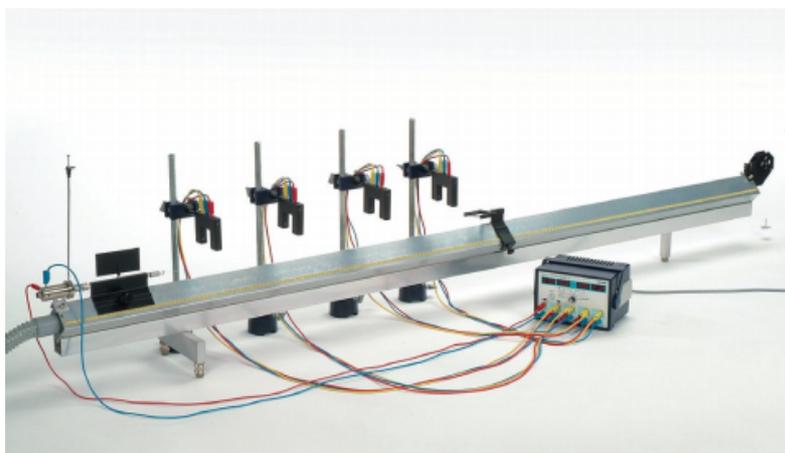
Pseudoforças como, por exemplo, a força de Coriolis, não podem ser observadas em um referencial inercial.

A Terra, em virtude do seu movimento de rotação, não pode ser rigorosamente considerada um referencial inercial. Contudo, quando estudamos movimentos de pequena duração, podemos desprezar os efeitos de sua rotação e considerá-la como sendo um referencial inercial.

Este roteiro de experimento deverá guiar o trabalho de vocês, que tem por objetivo verificar experimentalmente se um sistema de massa constante se comporta de acordo com a segunda lei de Newton.

## 2. Montagem experimental

Para a realização deste experimento usaremos um trilho de ar da **PHYWE**, que pode ser visto abaixo. A imagem mostra a montagem experimental que será utilizada.



5- Montagem completa

O trilho de ar é um aparato feito para reduzir o atrito. O trilho é constituído de pequenos orifícios distribuídos ao longo de toda a sua extensão, que são responsáveis pela saída de ar proveniente da turbina. Forma-se assim uma camada de ar que mantém o carrinho “flutuando” e com atrito reduzido entre a superfície do trilho e o carrinho. Dessa forma, nesta prática experimental **podemos desprezar a perda de energia por atrito** entre o trilho e o carrinho.

O conjunto todo é formado por:

- Trilho de ar
- Turbina de ar
- Carrinho
- Pesos
- Timer 4-4 da PHYWE (ou variante equivalente, atuando como cronômetro)
- 4 FOTOSSENSORES (Photo-Gate)
- Polia fixa para massa suspensa sobre o trilho
- Disparador
- Aparador com elástico (para bloquear o carrinho)



3 – Retrato de Galileu Galilei.

## A contribuição de Galileu

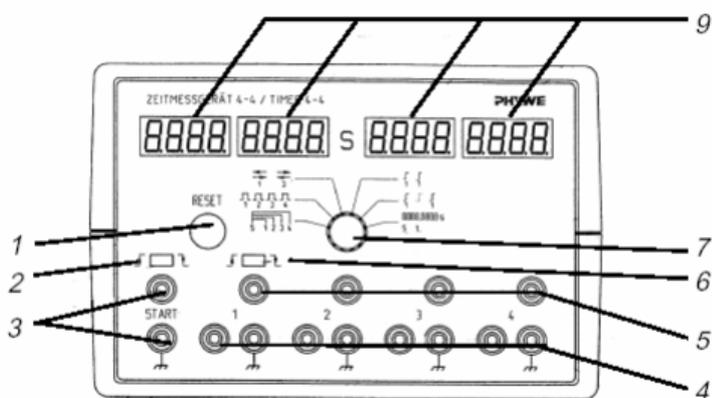
Galileu Galilei (1564-1642) foi um dos primeiros a estudar o MRUV, utilizando de planos inclinados. Ele verificou experimentalmente que corpos em queda livre, ou seja, quando sob a ação única e exclusivamente da força gravitacional, descrevem um MRUV no qual a aceleração é a mesma para todos os corpos, independentemente de suas massas.

### Você sabia que...

O corpo humano pode suportar acelerações de  $175 \text{ m/s}^2$  antes de ser destruído. Porém, normalmente uma pessoa comum é capaz de aguentar até 5G antes de perder a consciência, fenômeno conhecido como G-LOC (Gravity induced Loss of Consciousness). Pilotos militares treinados e portando trajes especiais conseguem suportar até 9G.

## 2.1 Entendendo o Timer 4-4

O timer 4-4 contém uma série de opções que devem ser compreendidas antes de iniciarmos quaisquer medições. Abaixo podemos ver um de seus modelos (existem variações dependendo do laboratório em questão).



4 - Exemplo de um timer 4-4

Primeiro vamos às explicações dos botões:

1. Botão RESET
  - **Deve ser apertado TODAS AS VEZES que** se inicia uma nova medida, muda-se o modo de seleção dos seletores padrão (2 e 6), muda-se o modo de medida (7) ou se desconecta algum dos fotossensores.
2. Seletor de padrão do Start
  - Este botão define de que modo o botão Start irá operar: se começa a funcionar na subida de onda de clock ou na decida de onda. Para este experimento não irá fazer diferença, pois o disparador solta um pulso bem curto. No entanto, é recomendado deixá-lo **na posição descida de clock** (à direita), pois em raros casos ele pode não acionar corretamente no segundo modo.
3. Conector para o Start
  - Nesse conector é ligado o disparador; ele deve ser ligado para que inicie a contagem do sistema.
4. Conectores de Energia (Positivo e Terra) dos fotossensores
  - São os conectores de energia. Cabos de cor azul e vermelha, em geral. Embora a montagem seja responsabilidade do técnico, é interessante conferir se está tudo correto.
5. Conectores de dados
  - Cabos de cor amarela. Evite encostar nesses cabos durante o experimento.

## 6. Seletor de padrão do Start

- De modo análogo ao primeiro, ele irá trabalhar com os fotossensores. Explicando de forma simples a passagem do carrinho pelo fotossensor bloqueia o mesmo, criando um pulso negativo (queda do clock). Quando o carrinho termina de passar por ele, temos o pulso positivo (subida de clock).
- A escolha desse parâmetro irá afetar completamente suas medições. O carrinho contém acima dele uma placa metálica preta. É esta placa que bloqueia o sensor. Iniciar a medida considerando o começo ou o final da placa faz diferença para os valores obtidos. Assim, **É FORTEMENTE recomendável manter a mesma opção durante toda a execução do experimento.**

## 7. Chave Seletora (Em algumas variações como o botão Mode)

- Embora existem diversos modos, apenas um nos interessa neste experimento.
  1.  $S(t)$ 
    - Ativa todos os sensores ao mesmo tempo, no momento em que o carrinho é liberado. A contagem de um dado cronômetro é encerrada quando o carrinho interrompe o respectivo fotossensor. Tem como função principal, portanto, determinar a relação  $S(t)$ .
    - Símbolo



## 8. Visores

- Marcam o tempo de cada cronômetro. Em outros modos o visor pode marcar outros parâmetros.

Link para documentação original fornecida pelo fabricante do experimento:

<https://www.phywe.com/en/newton-s-2nd-law-demonstration-track.html#tabs3>

### Antes de iniciar...

Verifique se o trilho de ar está **alinhado** com a mesa. Isso pode ser facilmente notado caso o carrinho se mova sozinho quando colocado sobre o trilho.

Verifique se os sensores estão bem encaixados aos suportes e se os mesmos estão firmes na mesa.

Verifique se a disposição das partes do projeto está ergonômica, **lembre-se que você vai ter que apertar o botão Reset dezenas de vezes.**

A turbina pode causar trepidação no carrinho. Deixe-o sem peso e maximize o valor da turbina. Em seguida, reduza gradativamente o fluxo de ar até um ponto em que o carrinho tenha pouca trepidação.

## 2.2 Ajustando o experimento

Determine a posição que será percorrida pelo carrinho, (**lembre-se que o sensor só enxerga a parte de cima do mesmo**) e sua respectiva incerteza;

- Anote a massa do carrinho  $M$  e a massa suspensa  $m$  e suas respectivas incertezas;
  - **Nota:** A massa suspensa é a massa que fica ligada ao carrinho através da polia por um fio.
- Ajuste o aparador em uma posição no trilho de forma a interromper o movimento do carrinho antes que a massa suspensa toque o chão;
- Adicione 20 g de massa ao carrinho, 10 g de cada lado com massas de 1 g. Use as ranhuras nas laterais do mesmo.
  - Pode ser que não estejam disponíveis tantas massas de 1 g, neste caso podemos fazer uma composição de outras massas disponíveis a fim de mantermos os mesmos valores.
- Anote a massa total  $M_T$  (Massa do carrinho + Massas Suspensas + 20 g) e sua incerteza.
- Posicione os sensores equidistantes ao longo do trilho. Verifique as posições dos sensores e suas respectivas incertezas. **Lembre-se que a posição é determinada em relação à origem do seu sistema de coordenadas, e que o sensor só “enxerga” a placa fixa ao carrinho.**
  - **Dica:** se você possuir uma régua de 40 cm pode colocá-la na mesa como na imagem ao lado, reduzindo em muito os problemas de paralaxe.

## 2.3 Procedimento experimental

O **primeiro passo** é ajustar a medição para o modo  $S(t)$ , como mencionado anteriormente no roteiro.

Posicione o carrinho (com a massa extra, idealmente 10 g) de maneira adequada. Posicione a massa suspensa na outra extremidade do fio, de modo que ela não bata na mesa e que o fio passe pela polia.

Solte a massa e faça medições de todos os valores obtidos e suas respectivas incertezas.

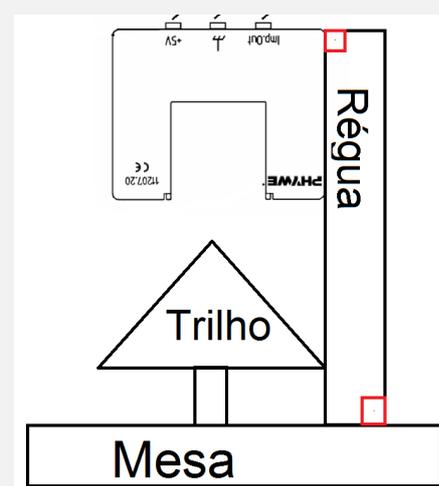
Repita o processo 5 vezes.

Para facilitar a análise dos dados, é **altamente** recomendado iniciar o seu trabalho com  $S_0 = 0$  e  $V_0 = 0$ .

Para começar com esses valores em 0 a dica é observar a placa situada acima do carrinho, responsável por acionar o sensor. Assim, use uma régua para verificar em qual posição encontra-se o início da placa. Assuma esse valor como sendo  $S_0 = 0$ .

Com esse valor em mãos você pode adicioná-lo ao valor descrito no sensor a fim de zerar o valor de  $S_0$ .

Para garantir  $V_0 = 0$ , assegure-se que o disparador está funcionando no modo correto.



Concluídas estas medidas, agora remova 2 g de massa do carrinho, retirando 1 g de cada lado.

Adicione estes 2 g à massa suspensa.

**A transferência de massas não deve (não importando a composição das massas) mudar o valor da massa total do sistema!**

Libere então o carrinho acionando o disparador. Anote os valores de tempo e suas respectivas incertezas.

Repita o procedimento **5 vezes** para uma **mesma configuração de massas**.

Repita então o processo de transferência de 2 g massa e de medição mais 4 vezes, obtendo um **total de 5 configurações diferentes de massa**.

## 4. Análise dos dados

Nesta seção orientamos como organizar e analisar os dados. Veja que a organização é fundamental, inclusive para que o grupo consiga ter uma ideia clara do que está sendo analisado e seu significado físico. Esta é uma parte importantíssima do trabalho experimental, e será avaliada pelo professor.

Organize os dados ( $S$ ,  $t$  e  $t^2$ ) e suas respectivas incertezas em uma tabela;

Plote um gráfico da posição do carrinho  $S$  em função do quadrado do tempo  $t^2$  para todas as configurações de massa. **Qual informação você pode extrair desse gráfico? Justifique.** A partir da análise das curvas, obtenha a grandeza relevante e sua incerteza. **Sugestão:** plote todas as curvas em um único gráfico. Isso permitirá avaliar melhor a evolução do sistema.



*Como você determina a incerteza para cada uma das grandezas? Discuta com os seus colegas de grupo e, em caso de dúvida, consulte o professor. Os valores devem constar na tabela, mas a expressão usada no caso de cálculo deve ser apresentada no apêndice.*

Elabore uma tabela da força resultante sobre o sistema e da aceleração do sistema, junto com suas respectivas incertezas.



### **Organização é fundamental no trabalho em equipe!**

É importante trabalhar em grupo de forma organizada. Estatisticamente grupos com melhores notas trabalham de forma mais coesa e respeitosa, valorizando o trabalho em equipe e as habilidades individuais de cada membro.

### **Fiquem atentos aos prazos.**

É praticamente impossível elaborar um bom relatório no dia da entrega. Reserve algumas horas por dia para organizar.

### **Tenham cópias online de tudo e com acesso a todos.**

Faça o trabalho de forma que ele possa ser acessado online. Isso permite que todos tenham acesso às informações e possam contribuir para a elaboração do relatório, evitando problemas simples que possam comprometer o andamento do trabalho. Desculpas do tipo "os dados estavam com o fulano" não serão aceitas para justificar atrasos na entrega do relatório.



Qual é a força resultante que atua sobre o sistema? Justifique. Para ajudar na compreensão e justificativa, desenhe o diagrama de forças para cada um dos corpos do sistema. Pense e relate quais são as hipóteses feitas.



Qual é a aceleração do sistema? Justifique em termos das hipóteses iniciais.

Plote um gráfico da força resultante sobre o sistema em função da aceleração do sistema;

O que esta relação significa? A partir da análise do gráfico determine a grandeza relevante e compare com o valor esperado, considerando as respectivas incertezas.

O gráfico obtido está de acordo com o esperado? O que você pode concluir sobre o experimento?

### Notas finais

As questões aqui descritas, bem como todos os demais itens do relatório, deverão ser feitas por vocês e não apenas copiadas. Vale ressaltar que grande parte da importância da disciplina é a produção de um relatório bem elaborado, conciso e original. Este é apenas um guia. Problemas não relacionados podem aparecer aqui bem como soluções que vocês encontrem. Caso o grupo considere pertinente, esses problemas/soluções devem constar no relatório.



Este é um relatório experimental. Os dados devem ser obtidos a partir da análise dos gráficos, e não de valores individuais baseados nas fórmulas. Compreender a análise gráfica e saber interpretar os valores extraídos é de suma importância.

O uso de computadores é permitido, mas é importante descrever os cálculos feitos pelo software. Compreender quais os cálculos que o programa realiza é uma obrigação do aluno.

## Referências Bibliográficas

- Christianson, Gale E. (1996). Isaac Newton and the scientific revolution. [S.l.]: Oxford University Press. p. 74. ISBN 0195092244
- CHAVES, Alaor; SAMPAIO, J. F.. Física básica: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 308 p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: mecânica. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC Ed, 2006. v. 1. 277 p.
- David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica . 7 ed. Rio de Janeiro: LTC Ed, 2006. v. 2. 228 p.
- VUOLO, José Henrique. Fundamentos da teoria de erros. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. 249 p.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de física básica: mecânica. 4. ed. São Paulo: E. Blücher, 2002. v. 1. 328p.
- YOUNG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. Sears e Zemansky física I: Mecânica. 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003. v. 1. 368 p.
- RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. Física. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC Ed, 2003. v. 1.368 p.
- Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. Física. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC Ed, 2003. v. 2.339 p.
- SERWAY, Raymond A; JEWETT, John W. Princípios de física: mecânica clássica. São Paulo: Thomson, 2004. v. 1. 403 p.
- TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas termodinâmica. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC Ed, 2006. v. 1. 793 p.
- Max Mangold (ed.), ed. (2005). Duden-Aussprachewörterbuch 7 ed. Mannheim: Bibliographisches Institut GmbH. ISBN 978-3-411-04066-7
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" Campus de Sorocaba/lperó  
Referenciais não-inerciais e pseudoforças (ou forças fictícias) <http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/malu/Antigo/referenciais.PDF> Acessado em 01/05/2017
- "J. Willard Gibbs". Physics History. American Physical Society. <http://www.aps.org/programs/outreach/history/historicsites/gibbs.cfm> Acessado em 01/05/2017
- Referenciais não inerciais Site: <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/referenciais-nao-inerciais.html> Acessado em 01/05/2017

### Figuras

- 1 - From Wikimedia Commons, the free media repository <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg> (Uso livre)
- 3 - Domiciano Correa Marques da Silva - <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/referenciais-nao-inerciais.html>
- 3 - <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2016/06/5-reflexoes-para-entender-o-pensamento-de-galileu-galilei.html>
- As demais imagens são próprias (o uso é livre).