

Mecânica (IGc) - 4310192

Ministrado por

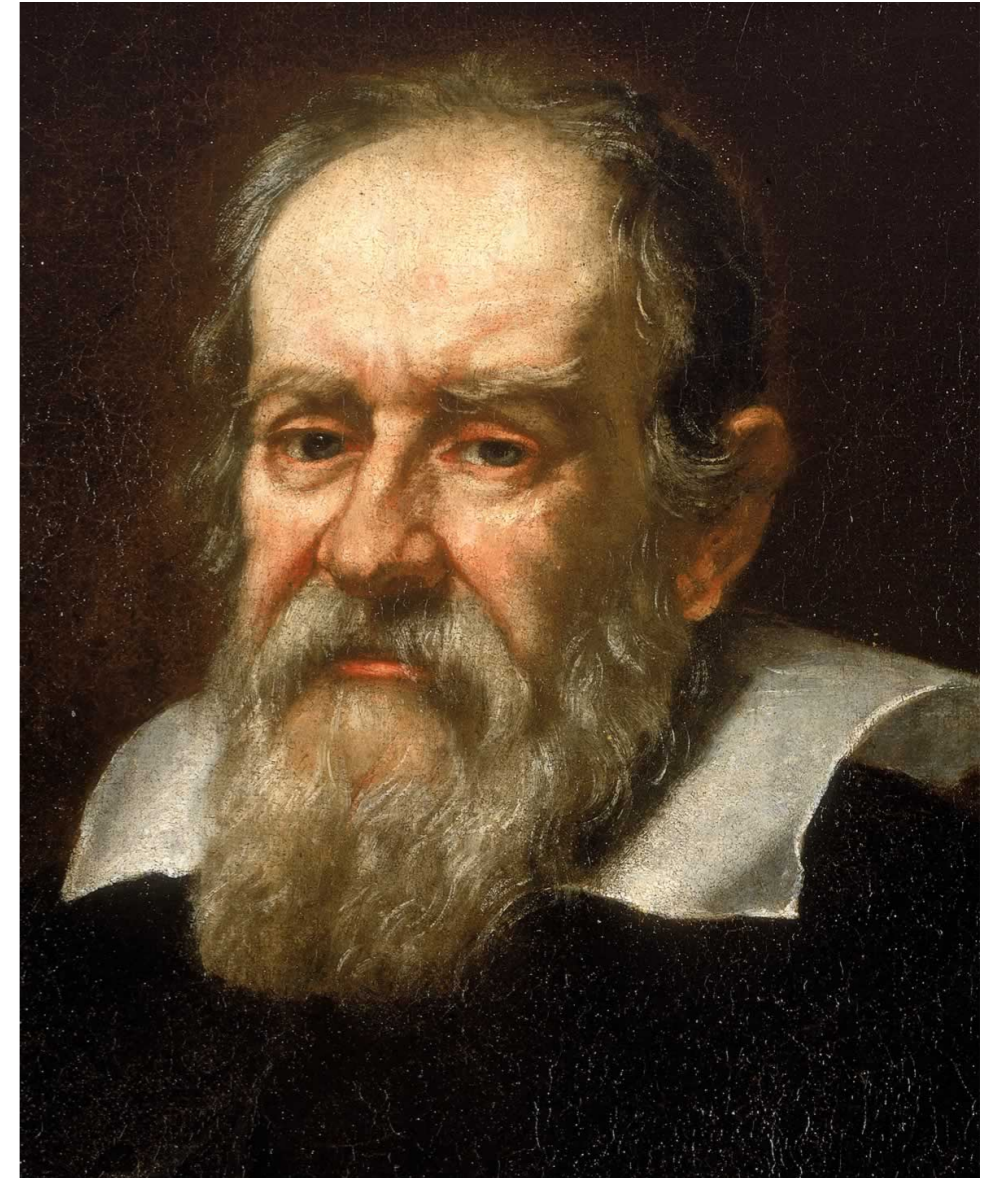
Prof. Gustavo Paganini Canal

Departamento de Física Aplicada

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Curso ministrado online para o

Instituto de Geociências



Galileo Galilei

e-mail: canal@if.usp.br

São Paulo - SP, 10 de Setembro de 2020

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais**
- **As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)**
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- **Exercícios de Fixação**

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais**
- *As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)*
- *As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)*
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- **Exercícios de Fixação**

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

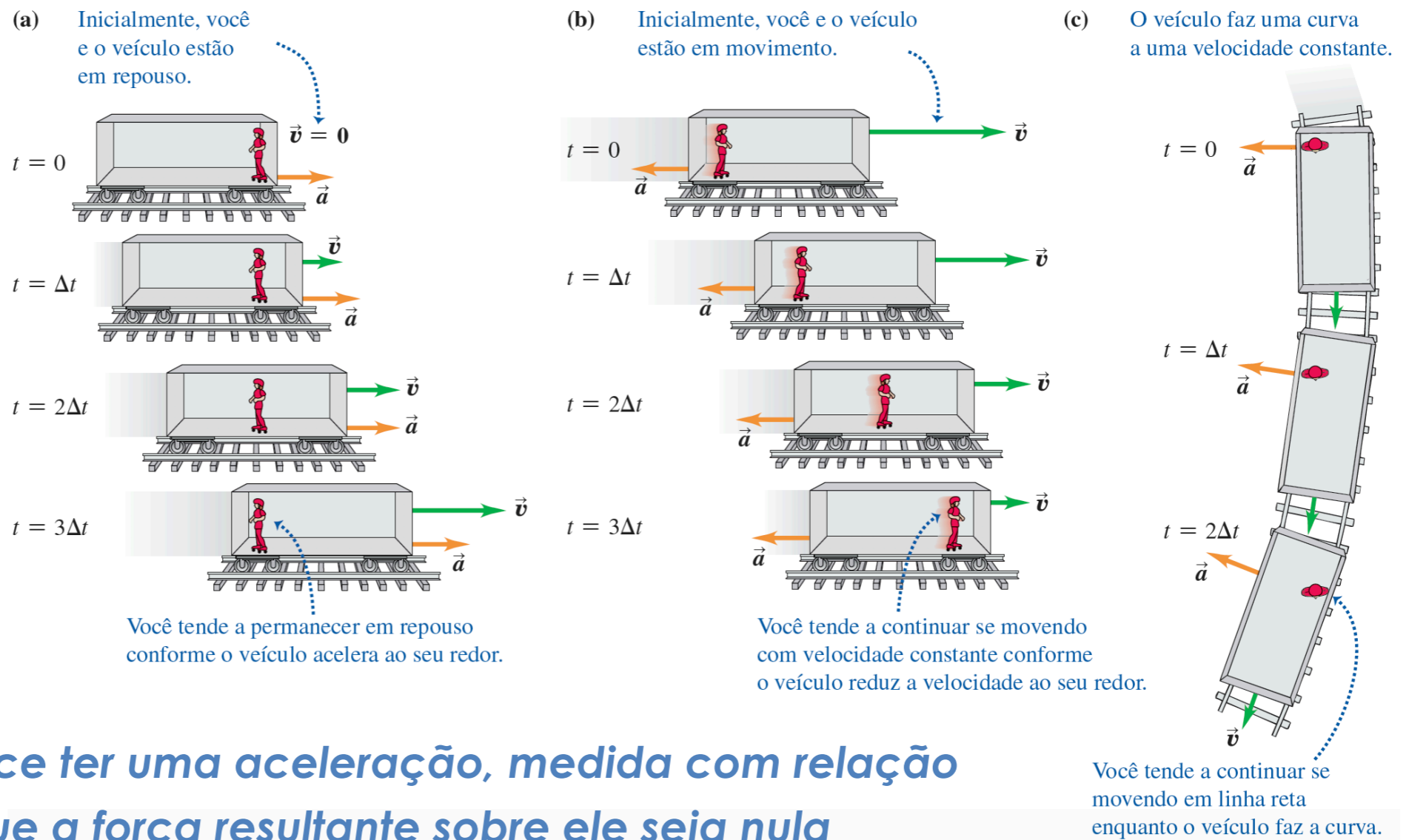
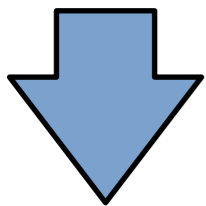
A primeira lei de Newton é válida apenas em referenciais inerciais

- **A primeira lei de Newton não vale para qualquer sistema de referência**
 - *Um sistema de referência para o qual a primeira lei de Newton é válida denomina-se SISTEMA DE REFERÊNCIA INERCIAL*
 - *Para um sistema de referência ser considerado inercial, este não pode estar acelerado*
 - *Num sistema de referência acelerado, e portanto não-inercial, um objeto pode ter aceleração mesmo que a força resultante sobre ele seja nula*

O aparecimento de pseudo-forças em referenciais inerciais

- **A primeira lei de Newton não vale para qualquer sistema de referência**
 - *Um sistema de referência para o qual a primeira lei de Newton não é válida denomina-se SISTEMA DE REFERÊNCIA NÃO-INERCIAL*

Um sistema de referência fixo no trem é um sistema não-inercial



O passageiro parece ter uma aceleração, medida com relação ao trem, mesmo que a força resultante sobre ele seja nula

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

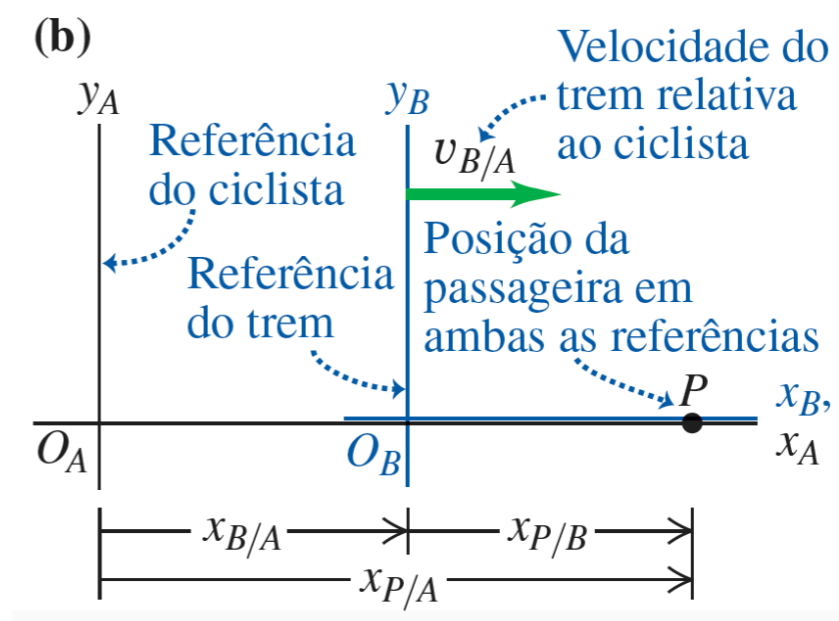
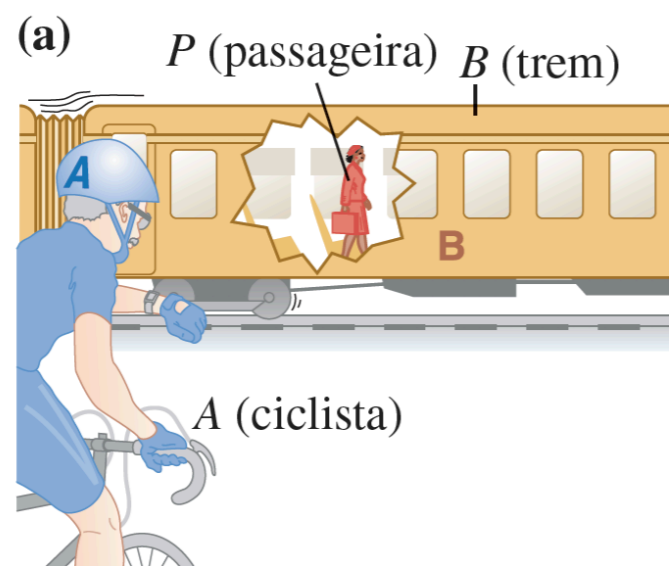
- Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais
- **As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)**
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- **Exercícios de Fixação**

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

Velocidade relativa e troca entre referenciais inerciais (Seção 3.5)

- Quando temos um sistema de referência inercial A, que obedece à primeira lei de Newton, então qualquer segundo sistema de referência B também será inercial se ele se mover em relação a A com velocidade constante
 - Na formulação das leis de Newton, não há nenhum sistema de referência inercial privilegiado



$$\vec{\mathbf{r}}_A = \vec{\mathbf{O}}_B + \vec{\mathbf{r}}_B \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{\mathbf{r}}_A}{dt} = \frac{d\vec{\mathbf{O}}_B}{dt} + \frac{d\vec{\mathbf{r}}_B}{dt} \quad \rightarrow \quad \vec{\mathbf{v}}_A = \vec{\mathbf{V}}_{O_B} + \vec{\mathbf{v}}_B$$

As transformações de Galileo relacionam as coordenadas de um ponto num referencial inercial em outro referencial inercial

- Quando temos um sistema de referência inercial (S), que obedece à primeira lei de Newton, então qualquer segundo sistema de referência (S') também será inercial se ele se mover em relação a (S) com velocidade constante

$$\vec{\mathbf{r}}(t) = \vec{\mathbf{O}}'(t) + \vec{\mathbf{r}}'(t) \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{\mathbf{r}}}{dt} = \frac{d\vec{\mathbf{O}}'}{dt} + \frac{d\vec{\mathbf{r}}'}{dt}$$

$$\vec{\mathbf{v}}(t) = \vec{\mathbf{V}} + \vec{\mathbf{v}}'(t)$$

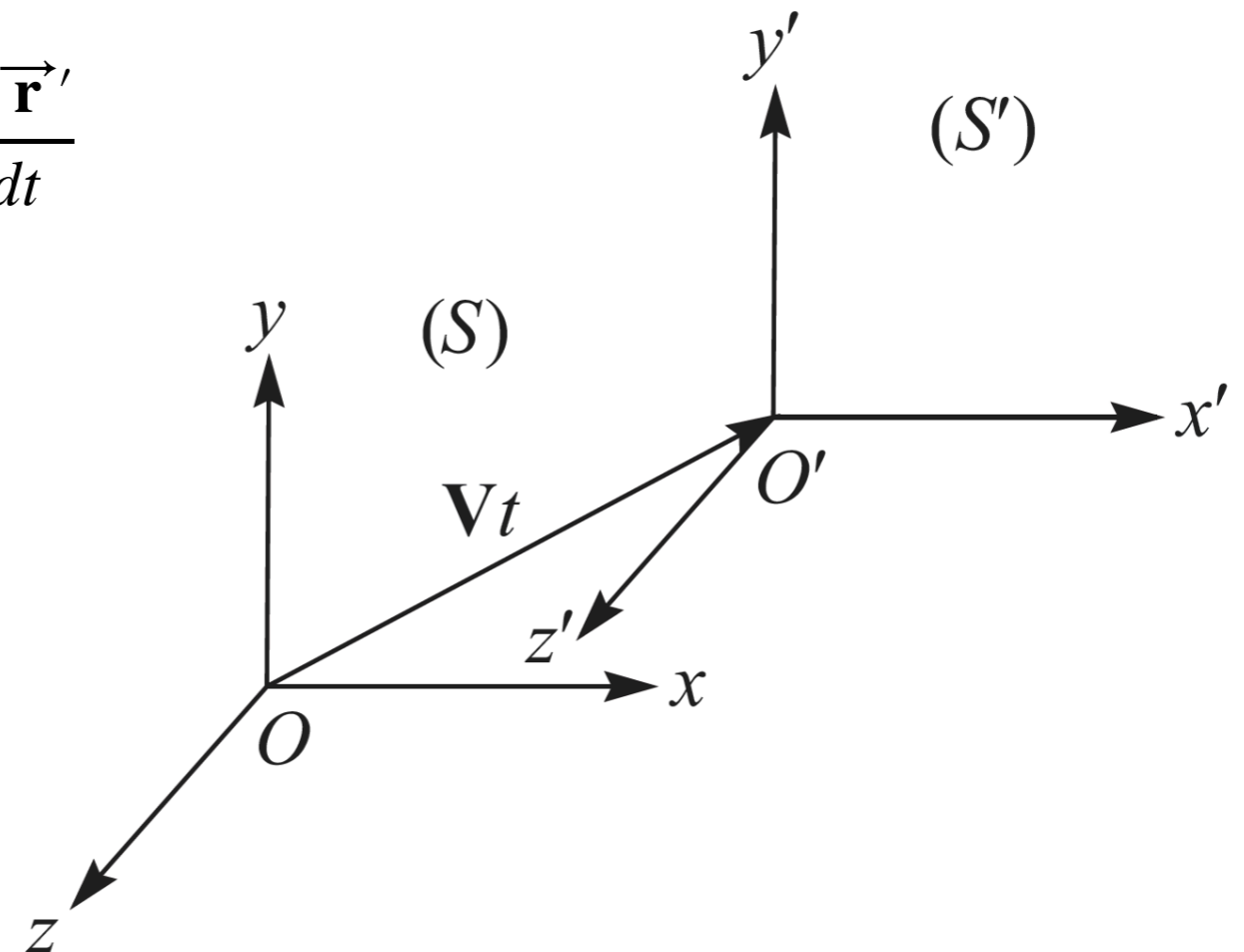
$$t = t'$$

$$\vec{\mathbf{r}}(t) = \vec{\mathbf{r}}'(t) + \vec{\mathbf{O}}'(t) = \vec{\mathbf{r}}'(t) + \vec{\mathbf{V}} t$$

$$x(t) = x'(t) + V_x t$$

$$y(t) = y'(t) + V_y t$$

$$z(t) = z'(t) + V_z t$$



As transformações de Galileo relacionam as coordenadas de um ponto num referencial inercial em outro referencial inercial

- A leis de Newton são as mesmas em qualquer referencial inercial

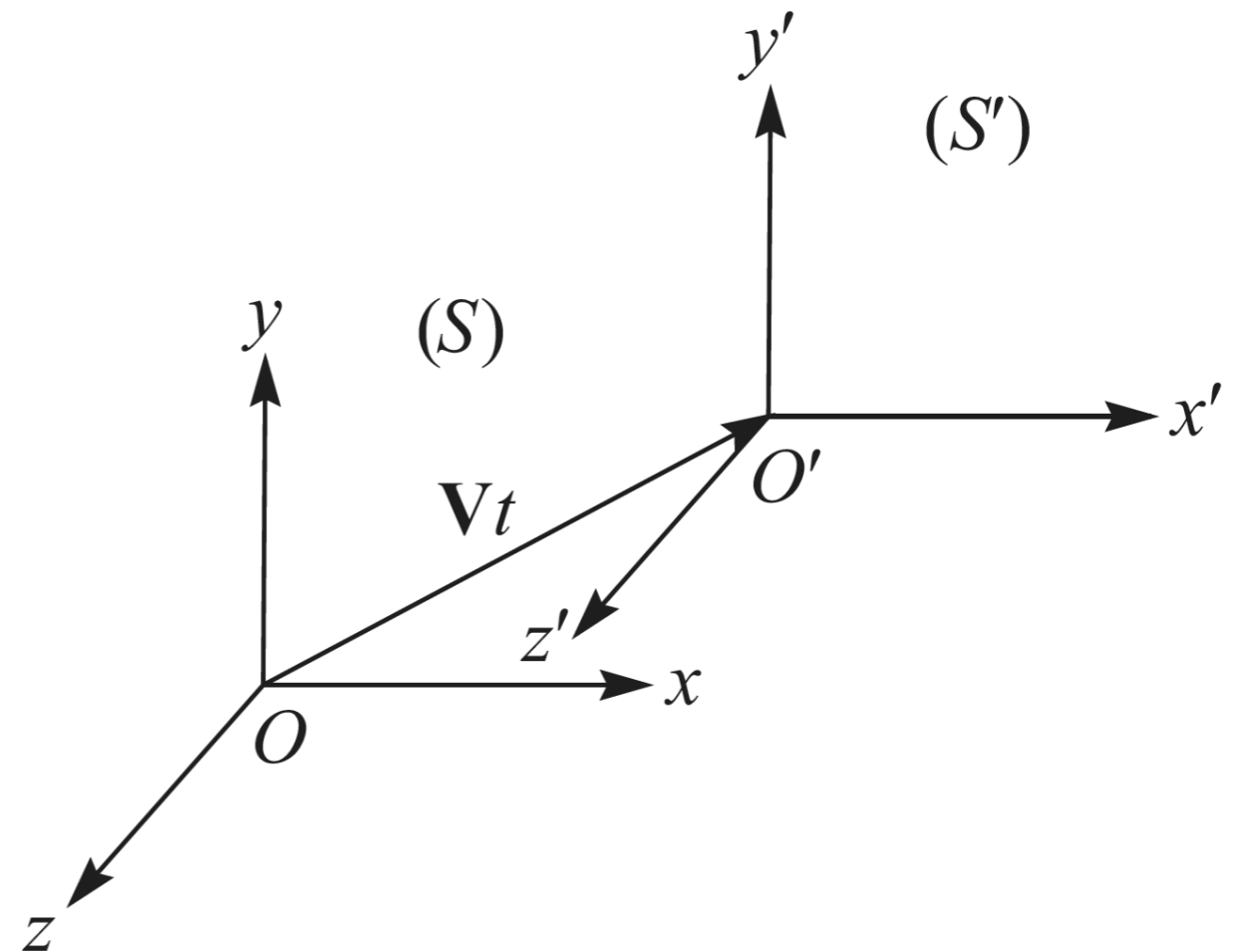
$$\vec{v}(t) = \vec{V} + \vec{v}'(t)$$

$$t = t'$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} = \vec{a}'$$

$$m = m'$$

$$\vec{F} = m \vec{a} = m' \vec{a}' = \vec{F}'$$



Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais
- As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- Exercícios de Fixação

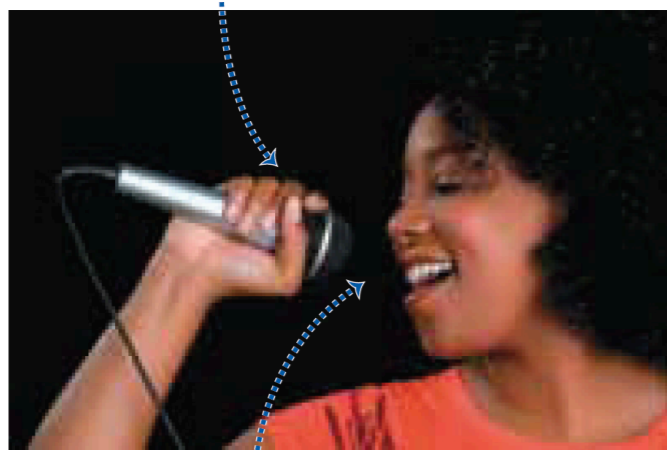
* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

A interação eletromagnética é uma interação fundamental que pode ser facilmente vista em nosso cotidiano

- **Virtualmente, toda nossa tecnologia é baseada na interação eletromagnética, de modo que quase tudo que temos ao nosso redor hoje funciona a base de forças elétricas e magnéticas**

(b) A interação eletromagnética
As forças de contato entre o microfone e a mão da cantora são elétricas por natureza.

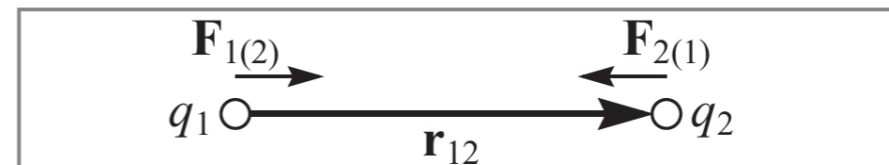


Este microfone usa efeitos elétricos e magnéticos para converter som em sinal elétrico, que pode ser amplificado e gravado.



- **Embora as forças elétricas já fossem conhecidas desde a antiguidade, a lei de forças entre duas partículas carregadas EM REPOUSO só foi obtida em 1785 por Coulomb**

$$\mathbf{F}_{2(1)} = -k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12} = -\mathbf{F}_{1(2)}$$



A interação eletromagnética é uma interação fundamental que pode ser facilmente vista em nosso cotidiano

- De forma geral, a força eletromagnética que atua sobre uma carga elétrica depende de sua carga, de sua velocidade, e dos campos elétrico e magnético esta se encontra

$$\vec{F} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

- É interessante notar que a força eletromagnética não obedece a terceira lei de Newton: $\vec{F}_{12} \neq -\vec{F}_{21}$
 - *O sistema considerado, em geral, emite radiação eletromagnética, e é preciso levar em conta a reação da radiação*
- As forças elétrica e magnética apareçam separadamente na expressão acima, mas a teoria da relatividade restrita mostra que estas são, na realidade, aspectos diferentes da mesma força - a força eletromagnética

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais
- As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- Exercícios de Fixação

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

A interação forte balanceia a força de repulsão elétrica entre prótons nos núcleos dos átomos permitindo a estabilidade deste

- A interação forte é responsável pelas forças nucleares que mantêm os núcleos dos átomos estáveis
- A força forte é, como seu próprio nome sugeri, a força mais forte conhecida
 - Para fragmentar núcleos atômicos, é preciso bombardeá-los com partículas de alta energia
- As forças nucleares, que resultam das interações fortes, são muito complexas
 - Têm caráter atrativo para distâncias maiores que $0,4 \times 10^{-15} \text{ m}$ e repulsivo para distâncias menores
 - Sua magnitude decresce exponencialmente para distâncias maiores que as dimensões nucleares
 - Nesta escala de distância, os fenômenos só podem ser tratados pela mecânica quântica

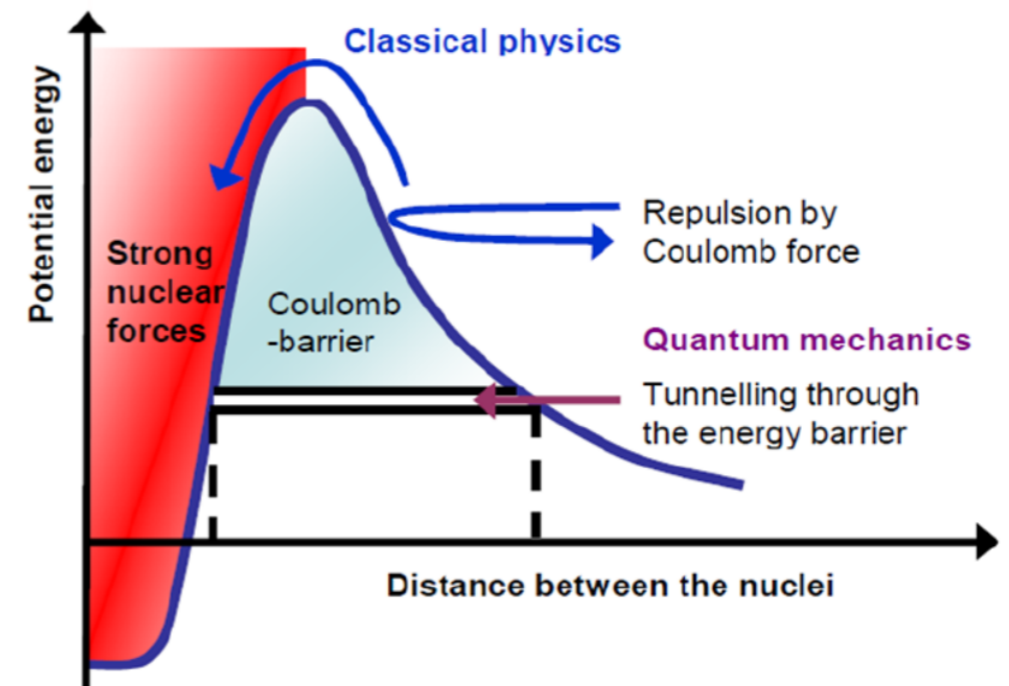
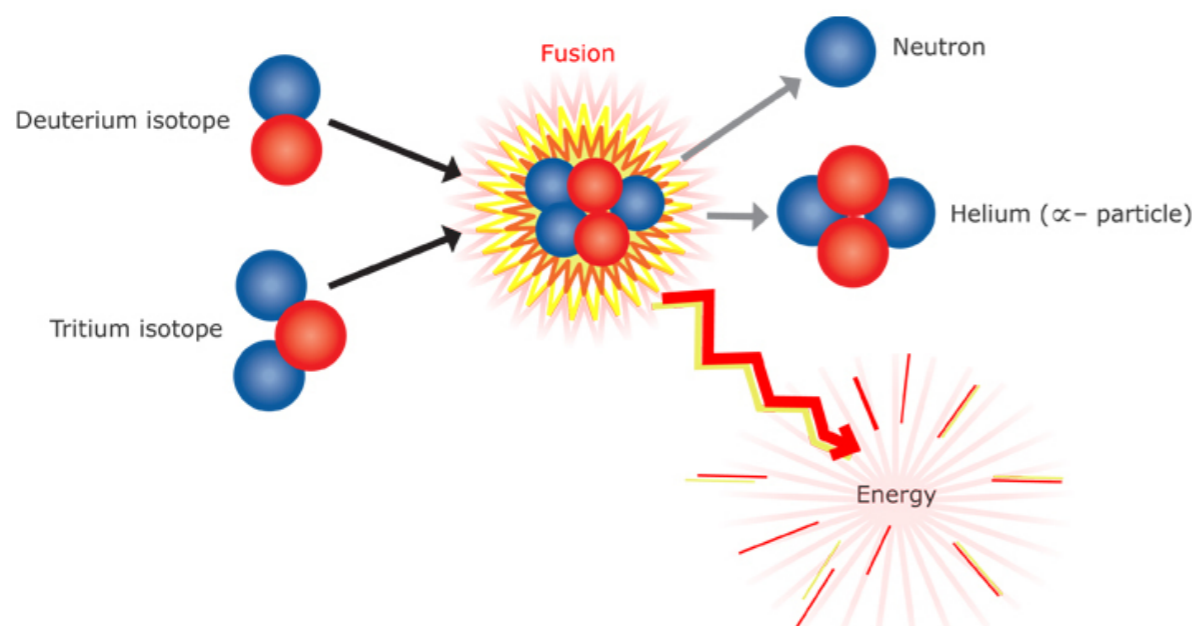
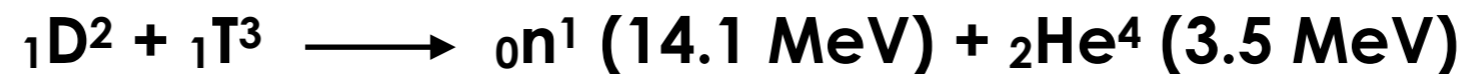
(c) A interação forte
O núcleo de um átomo de ouro tem 79 prótons e 118 nêutrons.



A interação forte mantém os prótons e nêutrons juntos e contorna a repulsão elétrica dos prótons.

A interação forte balanceia a força de repulsão elétrica entre prótons nos núcleos dos átomos permitindo a estabilidade deste

- A interação forte é responsável pelas reações nucleares de fusão e fissão de núcleos atômicos
- Dentre as reações de fusão exotérmicas, a mais proeminente para ser usada em futuros reatores a fusão envolve os isótopos mais pesados do hidrogênio: deutério (D) e trítio (T)



Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

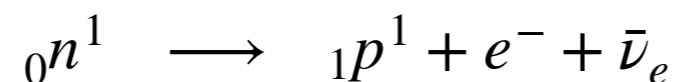
- Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais
- As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- Exercícios de Fixação

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

A interação fraca não tem um papel direto na matéria ordinária, mas é importante em interações entre partículas fundamentais

- **A interação nuclear fraca, como a nuclear forte, atua na escala nuclear**
 - *Seu alcance é ainda menor que o das interações fortes*
 - *A força nuclear fraca é mais fraca que a eletromagnética e nuclear forte*
 - *Como a interação forte, a interação fraca também só pode ser tratada pela mecânica quântica*
- **A interação fraca é responsável pelo processo de “desintegração beta”, que é a emissão de elétrons pelos núcleos de certas substâncias radioativas**
 - *A interação fraca entre um antineutrino e a matéria ordinária é tão débil que um antineutrino poderia atravessar facilmente uma parede de chumbo com espessura de um milhão de quilômetros*



A interação fraca não tem um papel direto na matéria ordinária, mas é importante em interações entre partículas fundamentais

- **Uma aplicação importante da interação fraca é a datação por radiocarbono**
 - *Esta técnica permite determinar a idade de muitos espécimes biológicos*
 - *A interação fraca torna os núcleos de $^{12}\text{C}^{14}$ instáveis - um dos nêutrons é alterado para um próton, um elétron e um antineutrino - e esses núcleos decaem a uma velocidade conhecida*
 - *Medindo-se a fração de $^{12}\text{C}^{14}$ que é deixada nos restos de um organismo, cientistas podem determinar há quanto tempo o organismo morreu*
- **Entre os progressos recentes mais importantes nas teorias das interações fundamentais, destacam-se as tentativas de unificação das interações fundamentais**
 - *Uma das mais bem-sucedidas foi a unificação da força nuclear fraca com a eletromagnética, que deu origem a interação eletro-fraca*

(d) A interação fraca
Cientistas descobrem a idade deste esqueleto antigo medindo seu carbono-14 — uma forma de carbono que é radioativa graças à interação fraca.



Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- Revisão sobre referenciais inerciais e não-inerciais
- As transformações de Galileo (Seção 13.1-M*)
- **As interações fundamentais da natureza (Seção 5.1-M* e 5.5-S&Z*)**
 - *A força eletromagnética*
 - *A força nuclear forte*
 - *A força nuclear fraca*
 - *A força gravitacional*
- Exercícios de Fixação

* M: Livro do H. Moysés Nussenzveig

* S&Z: Livro do Sears & Zemansky

A interação gravitacional é responsável por manter a órbita dos planetes do nosso sistema solar ao redor do Sol

- O módulo da força de atração gravitacional entre dois corpos depende do produto de suas massas e do inverso do quadrado da distância entre eles

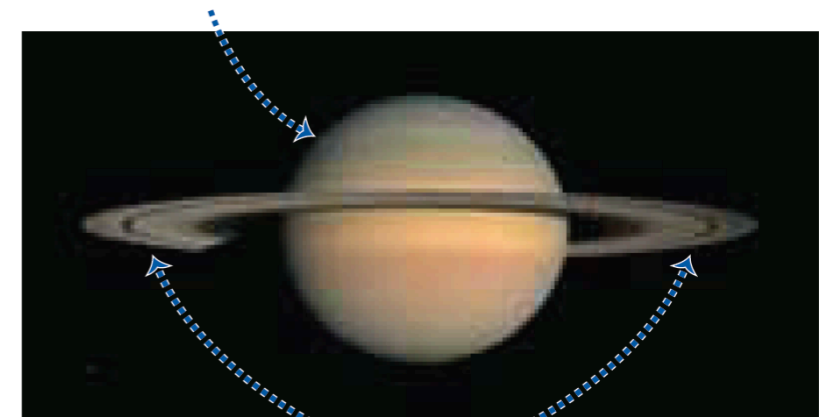
$$|\vec{F}| = \frac{G m_1 m_2}{d^2} \quad \text{onde} \quad G = 6,6726 \times 10^{-11} \quad (m^3 s^{-2} kg^{-1})$$

- A força gravitacional é a interação fundamental mais fraca que existe
 - A repulsão entre dois prótons é 10^{35} vezes maior que a atração gravitacional entre eles

- A atração mútua das várias partes de nosso planeta o mantém coeso

- Newton concluiu que a atração gravitacional que o Sol exerce sobre a Terra mantém a Terra em uma órbita quase circular em torno do Sol

(a) A interação gravitacional Saturno é mantido pela atração gravitacional mútua de todas as suas partes.

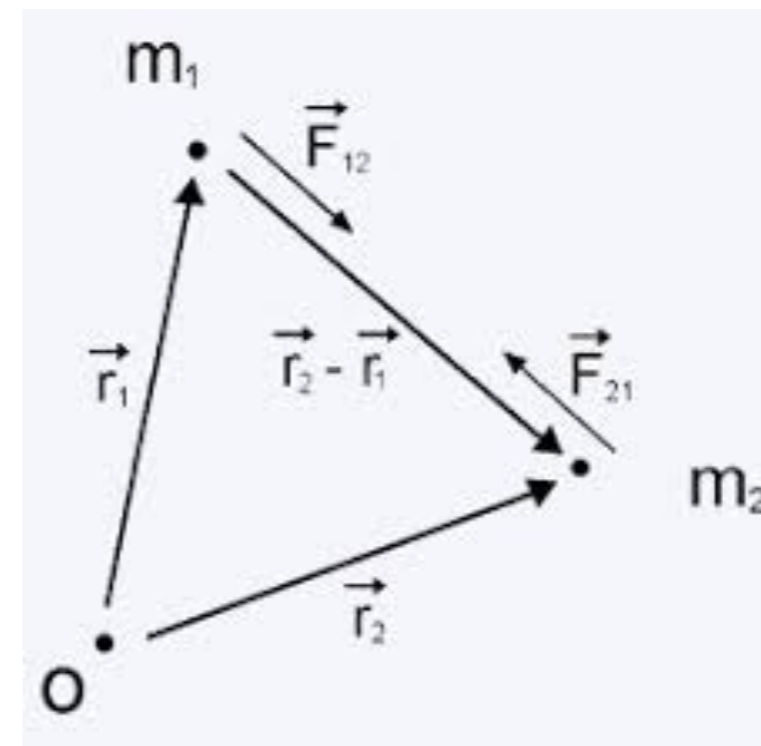


As partículas que compõem os anéis são mantidas em órbita pela força gravitacional de Saturno.

A interação gravitacional é responsável por manter a órbita dos planetes do nosso sistema solar ao redor do Sol

- A força de atração gravitacional entre dois corpos atua ao longo da reta que une estes dois corpos

$$\vec{F}_1 = \frac{G m_1 m_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$



Note que o vetor unitário que fornece a direção da força foi escrito como

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$

Exercícios de fixação

- **Exercícios sobre a seção 5.1 do livro do H. Moysés Nussenzveig**
 - *Exercícios: 5.1, 5.2 e 5.3*