

---

# **Física IV**

---

**Instrutor: Prof. Daniel Jonathan**

**Sala: 507 (IF, torre nova, 5º andar)**

**Email: [jonathan@if.uff.br](mailto:jonathan@if.uff.br)**

**Site do curso: [http://cursos.if.uff.br/fisicaIV\\_XXI\\_0215/](http://cursos.if.uff.br/fisicaIV_XXI_0215/)**

**Twitter do curso: [@fisica4uff](https://twitter.com/fisica4uff)**

# Livro-texto principal

**“Física, uma abordagem estratégica”, vol. 4  
Randall L. Knight**

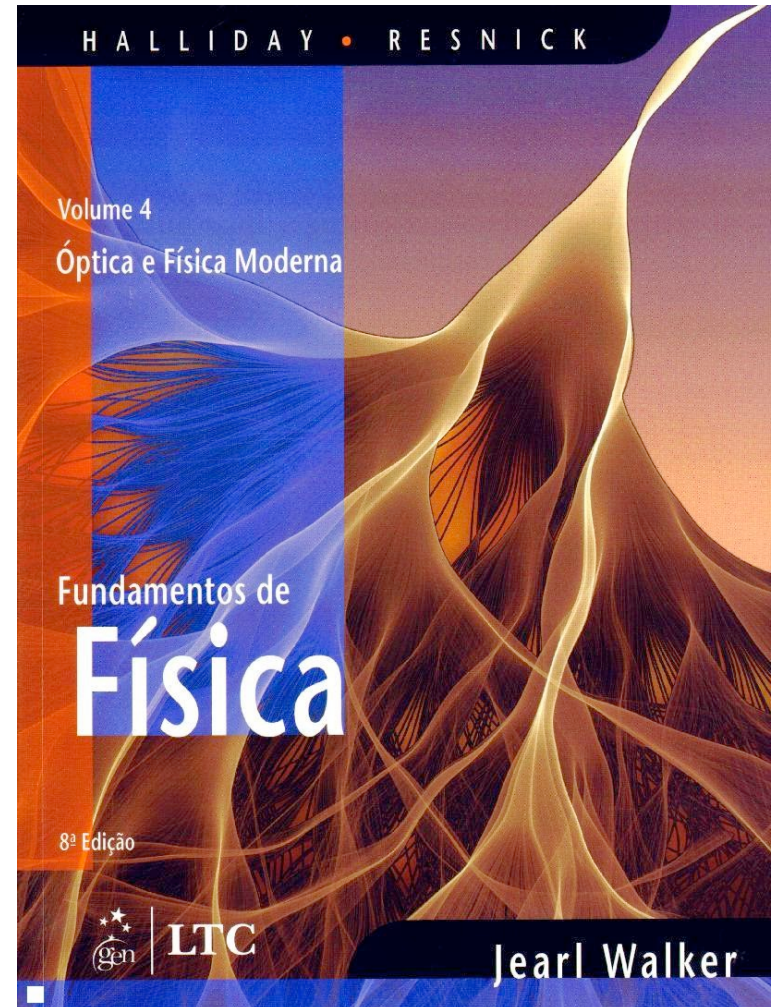
**Caps. 37 – 43**



# Livro-texto secundário

**Usaremos para parte do  
conteúdo da P3**

**“Fundamentos de Física,  
vol. 4”, 8a ed.  
Halliday, Resnick e Walker  
caps. 41 e 43**



# Calendário – 2p15 – 2ª/4ª

|           | Seg.       | Ter.       | Qua.       | Qui        | Sex        | Sab.  |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| Novembro  | 23         | 24         | 25         | 26         | 27         |       |
| Dezembro  | 30         | 1          | 2          | 3          | 4          |       |
|           | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         |       |
|           | 14         | 15         | MT1 16     | 17         | 18         |       |
|           | 21         | 22         | 23         | Recesso 24 | Recesso 25 |       |
|           | Recesso 28 | Recesso 29 | Recesso 30 | Recesso 31 | Recesso 1  |       |
| Janeiro   | 4          | 5          | MT2 6      | 7          | 8          | P1 9  |
|           | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         |       |
|           | 18         | 19         | 20         | 21         | 22         |       |
|           | 25         | 26         | 27         | 28         | 29         |       |
| Fevereiro | MT3 1      | 2          | 3          | 4          | 5          |       |
|           | Recesso 8  | Recesso 9  | Recesso 10 | 11         | 12         |       |
|           | 15         | 16         | MT4 17     | 18         | 19         | P2 20 |
|           | 22         | 23         | 24         | 25         | 26         |       |
| Março     | 29         | 1          | MT5 2      | 3          | 4          |       |
|           | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         |       |
|           | 14         | 15         | MT6 16     | 17         | 18         | P3 19 |
|           | 21         | 22         | 23         | 24         | Feriado 25 | VR 26 |
|           | 28         | 29         | 30         | 31         | 1          | VS 2  |
| Abril     | 4          | 5          | 22         | 23         |            |       |

Período Letivo:

25/nov de 2015: início

02/abril de 2016: Fim

## Tópicos

### P1

Relatividade

O fim da física clássica

Quantização

Revisão

### P2

Funções de onda e incerteza

Mecânica Quântica Unidimensional

Física atômica

Revisão

### P3

Física nuclear

Energia nuclear (Halliday)

Condução elétrica nos sólidos (Halliday)

Revisão

# Avaliação

**Provas (3) : 20Q de múltipla escolha**

**MiniTestes (2 por prova) : 1Q discursiva da lista de exs.**

**Testes de Leitura (1 por aula): 5Q de multipla escolha**

**Nota final = (Média 3 Provas) x 85%**

**+ (Média 6 MiniTestes\*) x 10%**

**+ (Média Testes de Leitura\*\*) x 5%**

**\* descontando pior nota**

**\*\* descontando 6 piores notas**

# Método do curso: *peer instruction* (*instrução pelos colegas*)

1) **Em sala**: explicações **resumidas** do material no livro (sem repetir derivações), entremeadas por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Funcionam assim:

- i) **Eu apresento um problema**, você tem um tempo para pensar, e depois uma votação é feita usando cartões-resposta especiais

# Método do curso: *peer instruction* (*instrução pelos colegas*)

1) **Em sala**: explicações **resumidas** do material no livro (sem repetir derivações), entremeadas por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Funcionam assim:

- i) **Eu apresento um problema**, você tem um tempo para pensar, e depois uma votação é feita usando cartões-resposta especiais
- ii) **Você discute com um colega**, cada um tenta convencer o outro de que a sua resposta é a correta

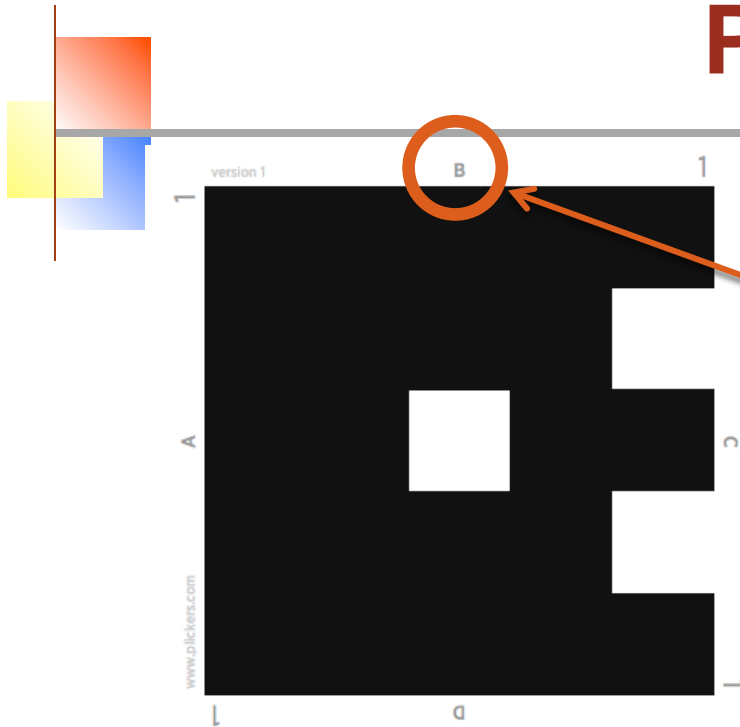
# Método do curso: *peer instruction* (*instrução pelos colegas*)

1) **Em sala**: explicações **resumidas** do material no livro (sem repetir derivações), entremeadas por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Funcionam assim:

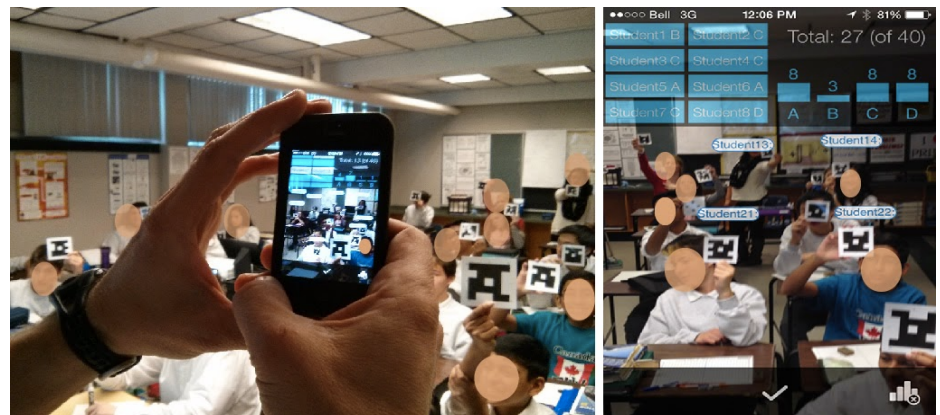
- i) **Eu apresento um problema**, você tem um tempo para pensar, e depois uma votação é feita usando cartões-resposta especiais
- ii) **Você discute com um colega**, cada um tenta convencer o outro de que a sua resposta é a correta
- iii) **Fazemos uma segunda votação**. Se agora a maioria acertar, passamos para o próximo tópico. Se a maioria erra discutimos a resposta correta, e se possível eu apresento outra questão conceitual sobre o mesmo tema.

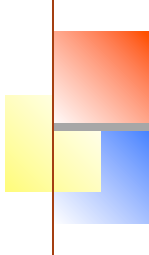
# Plickers



- 64 cartões, todos diferentes
- Responda levantando o cartão com sua resposta virada pra cima
- Letras pequenas de propósito (p/ seu colega não ver sua resposta!)

**Eu escaneio a turma usando um aplicativo no celular**





# Plickers

---

**O quanto você já sabe sobre a Teoria da Relatividade?**

**A) Tem a ver com um tal de Einstein.**

**B) Já li ou vi alguma coisa em revistas / livros de divulgação / TV / internet. Sei que envolve a velocidade da luz e  $E=mc^2$ .**

**C) Já estudei antes num livro de Física.**

**D) Eu poderia estar dando esse curso.**

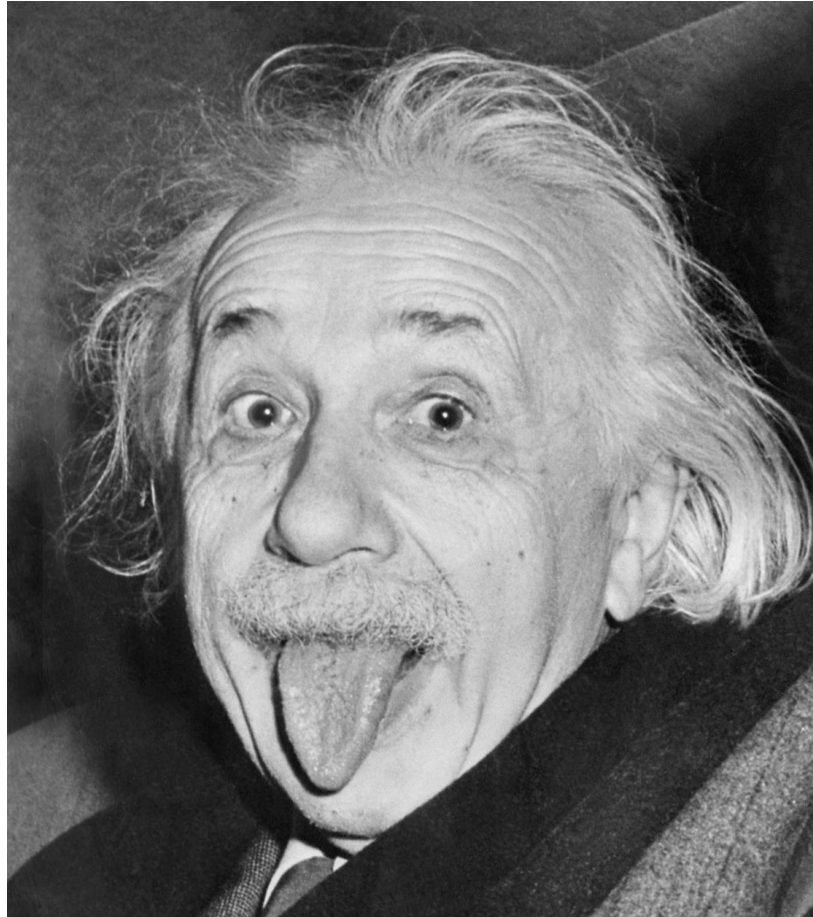
# Método do curso: *peer instruction* (*instrução pelos colegas*)

2) **Antes da aula:** Você deve **ler o livro** e responder um **teste de leitura online**, valendo nota.

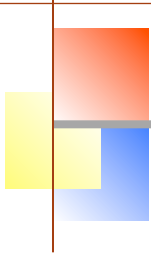
**Como funciona:**

- a) Vá no site (ou twitter) do curso e clique no link do teste.
- b) Faça login com seu email do iduff ([xxx@id.uff.br](mailto:xxx@id.uff.br))
- c) Preencha suas respostas: são cinco questões de múltipla escolha (valendo nota), mais um campo (obrigatório, mas sem valer nota) para você comentar sobre o que gostou/não gostou/não entendeu/quer saber.
- d) Envie até **meia hora antes do horário da aula**

# Relatividade



**A. Einstein (1879 – 1955)**



# Relatividade



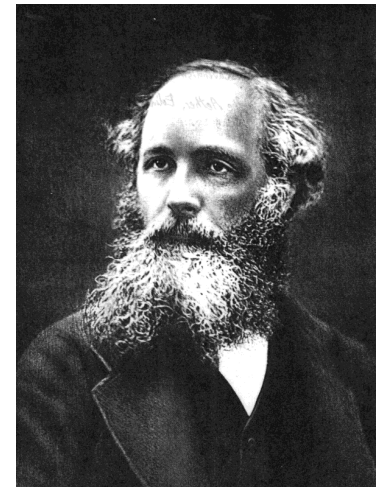
**A. Einstein em 1905, aos 26 anos**



**G. Galilei**



**I. Newton**

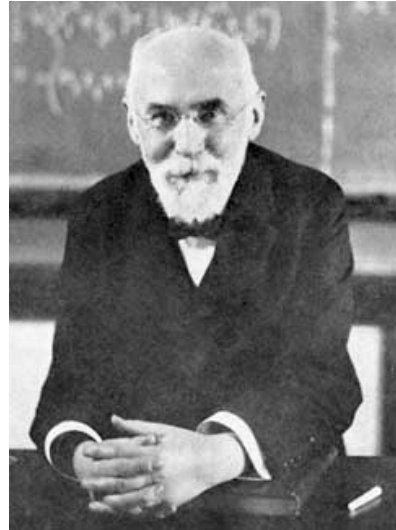


**J.C. Maxwell**

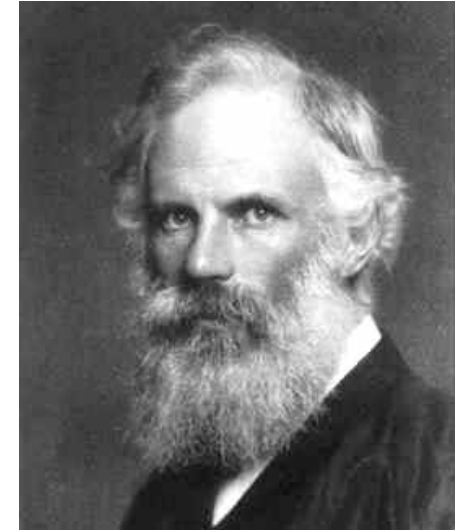
# Outros personagens dessa história



**Poincaré**



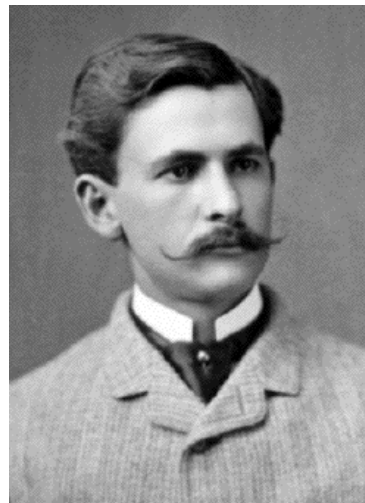
**Lorentz**



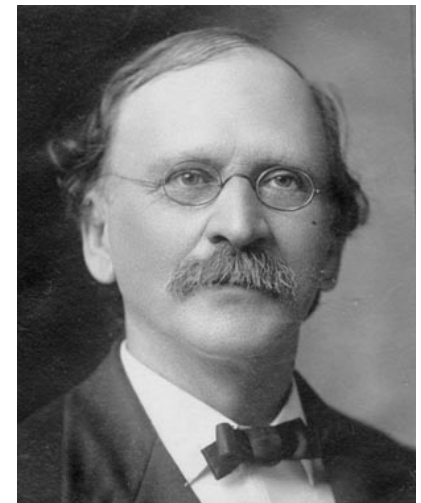
**FitzGerald**



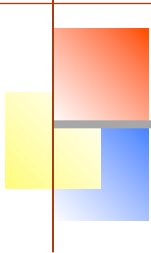
**Minkowski**



**Michelson**



**Morley**



# Teste conceitual

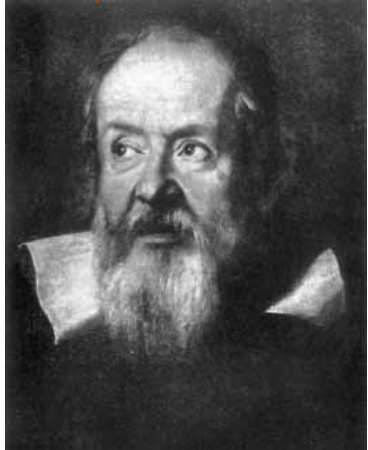
**Você está sentado em um compartimento sem janelas, à prova de som e vibração, dentro de um avião. Considere os seguintes movimentos possíveis do avião:**

- 1) Faz uma curva para a esquerda, mantendo velocidade constante**
- 2) Começa a subir, mantendo velocidade constante**
- 3) Voa em linha reta com velocidade constante**
- 4) Voa em linha reta com aceleração constante**

**Quais desses movimentos podem ser detectados por você?**

- A) somente 4    B) 2 e 4    C) 1,2 e 4    D) 1, 2, 3 e 4**

# A Relatividade de Galileu



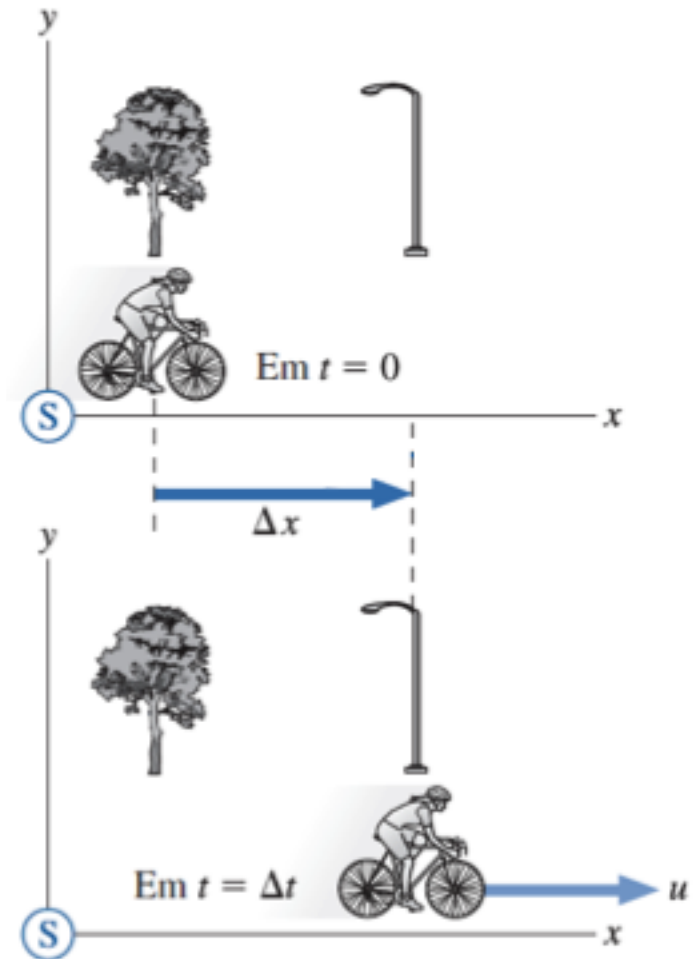
- O princípio da relatividade de Galileu Galilei é descrito em seu livro "Diálogos sobre dois sistemas máximos do mundo" (1632).
- **Pergunta:** uma pessoa em uma cabine fechada de um navio em movimento é ou não capaz de perceber este movimento pela observação do comportamento de pêndulos, molas ou outros sistemas mecânicos?

***"...(desde que o movimento seja uniforme e não flutuante para um lado e para outro) você não perceberá a menor modificação dos efeitos mencionados, e nem de algum deles poderá concluir se o navio se move ou está parado ..."***

**Conclusão: a velocidade de um objeto não é absoluta, mas relativa a um referencial**

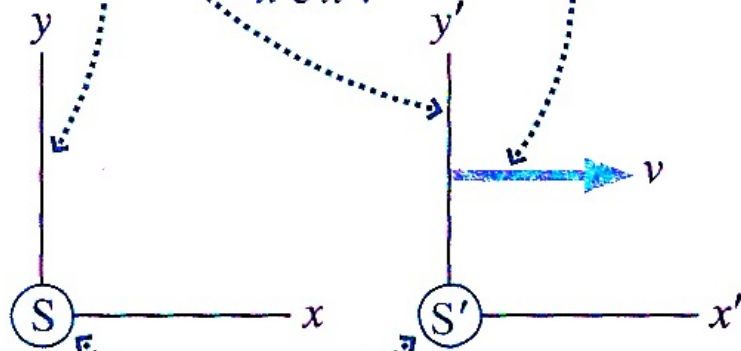
# Referenciais

**Referencial: sistema de coordenadas em que observadores em repouso medem as posições e o tempo de objetos em movimento**

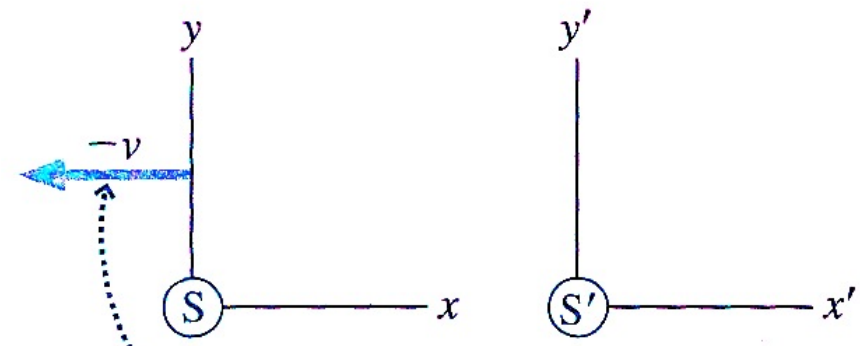


# Referenciais

1. Os eixos de  $S$  e  $S'$  têm a mesma orientação.
2. O referencial  $S'$  move-se com velocidade  $v$  em relação ao referencial  $S$ . O movimento relativo ocorre ao longo dos eixos  $x$  e  $x'$ .

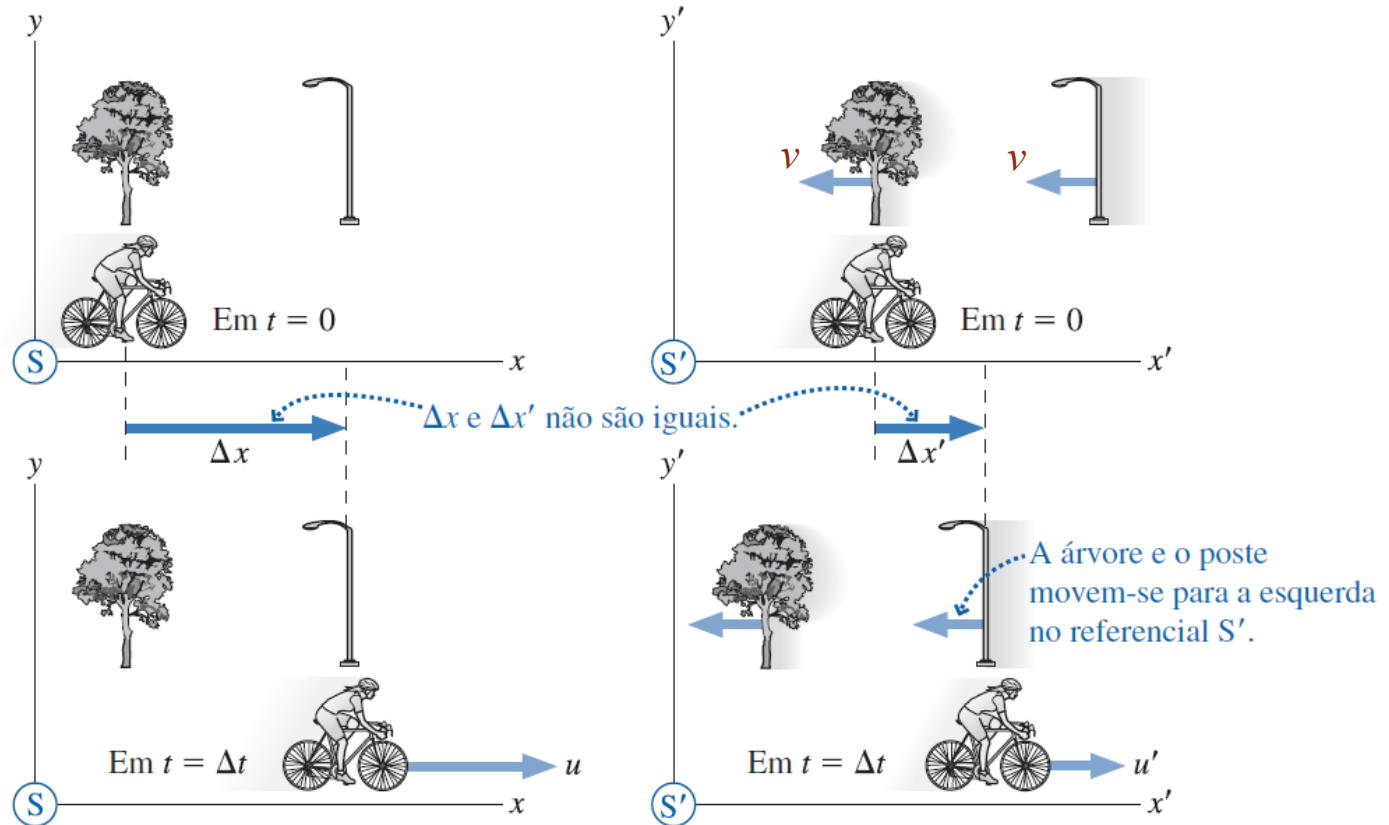


3. As origens de  $S$  e  $S'$  coincidem no instante  $t = 0$ . Essa é a nossa definição de  $t = 0$ .



4. O referencial  $S$  move-se com velocidade  $-v$  em relação ao referencial  $S'$ .

# Transformações de Galileu



$$x = x' + vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

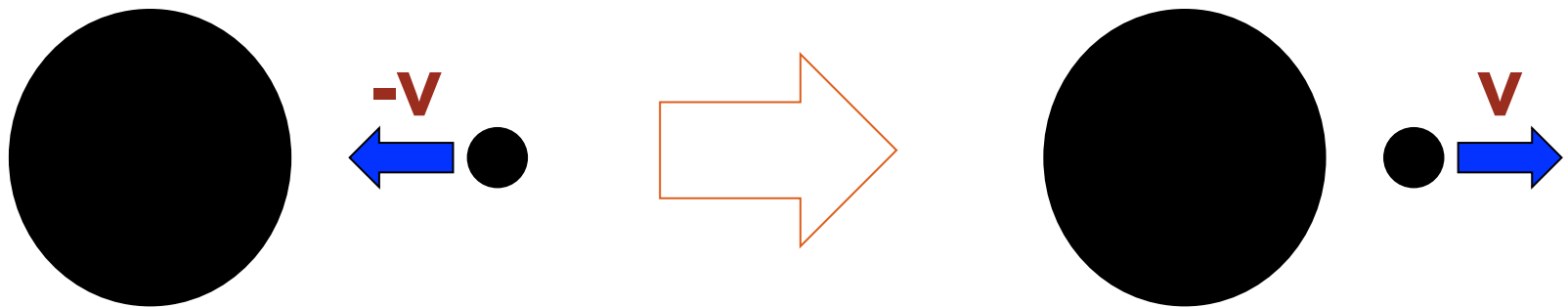
$$u_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + v = u'_x + v$$

$$u_y = \frac{dy}{dt} = \frac{dy'}{dt} = u'_y$$

$$u_z = \frac{dz}{dt} = \frac{dz'}{dt} = u'_z$$

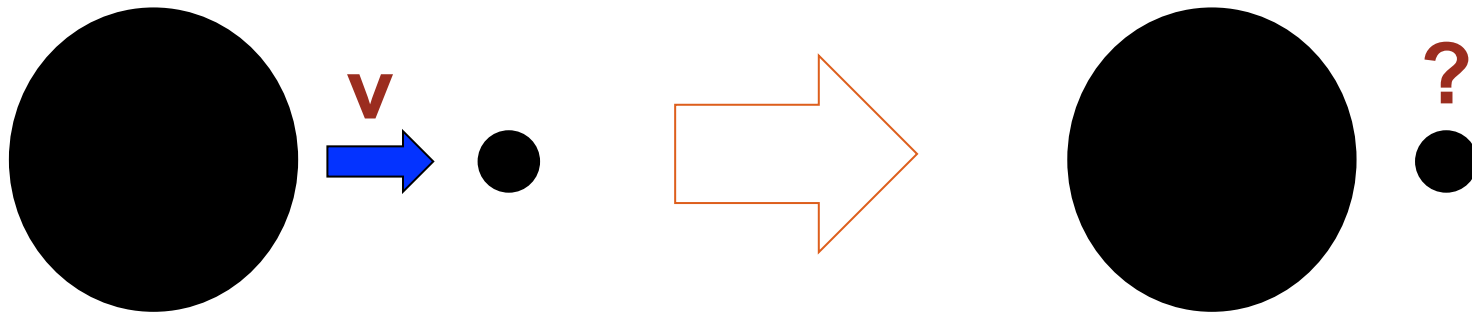
# Teste conceitual: referenciais

Se uma bola pequena colide com outra grande e pesada, inicialmente em repouso, sabemos que esta última continua praticamente em repouso, enquanto a bola pequena quica de volta praticamente com a mesma velocidade inicial



# Teste conceitual: referenciais

Suponha agora que a bola grande, de massa  $M$ , se movendo com velocidade  $v$ , atinge a bola pequena, de massa  $m$ , que está em repouso.

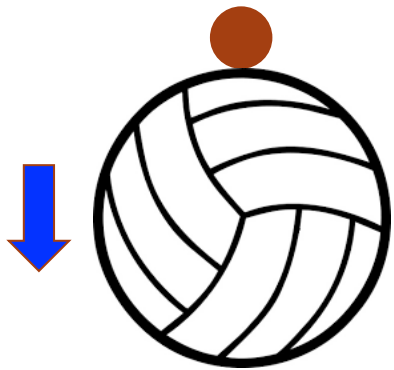


Após a colisão, o momento linear da bola pequena será

- A)  $Mv$       B)  $2Mv$       C)  $mv$       D)  $2mv$

Dica: mude para outro referencial, resolva o problema lá, depois retorne para o referencial inicial

# Teste conceitual: referenciais



Uma pequena bola de borracha é colocada sobre uma bola de vôlei, e ambas são largadas de uma certa altura, caindo juntas.

Logo antes da bola de vôlei atingir o chão, a velocidade vertical de ambas é  $v$ .

Após o choque, qual será a velocidade com que a bola pequena quica para cima, com respeito ao chão?

A)  $v$

B)  $2v$

C)  $3v$

D)  $4v$

# Relatividade de Galileu, versão Newton



1a Lei: existem *referenciais inerciais*, nos quais um corpo que não sofre forças se move com vel. constante

2a Lei: Em relação a um ref. inercial, vale que

$$\vec{F}_{result} = m\vec{a}$$

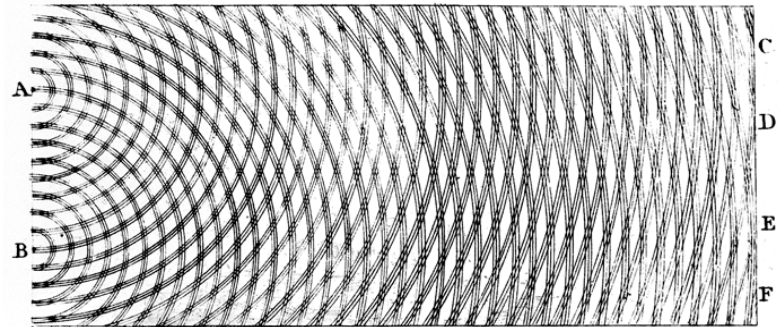
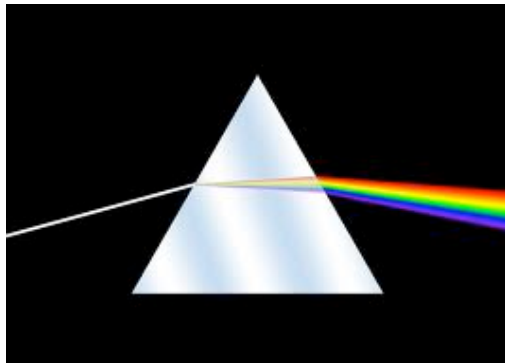
O Princípio da Relatividade de Galileu,  
versão de Newton:

***“As leis da mecânica são iguais em  
relação a qualquer referencial inercial”***

# E a luz?

Newton: acreditava que a luz era feita de *partículas*.

No início do séc XIX: descobre-se que a luz é uma *onda*, pois sofre refração, difração, interferência etc.



Meados do séc XIX: eqs de Maxwell descrevem todos os fenômenos elétricos, magnéticos e ópticos (unificação).

Prevêem que a luz é de fato uma onda que se desloca com velocidade

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300 m/\mu s$$

**A pergunta porém é: com relação a que?**



# O Drama da Física Clássica

---

**Problema com a versão ondulatória: uma onda precisaria de um meio para se propagar. Surge a hipótese do ÉTER...**

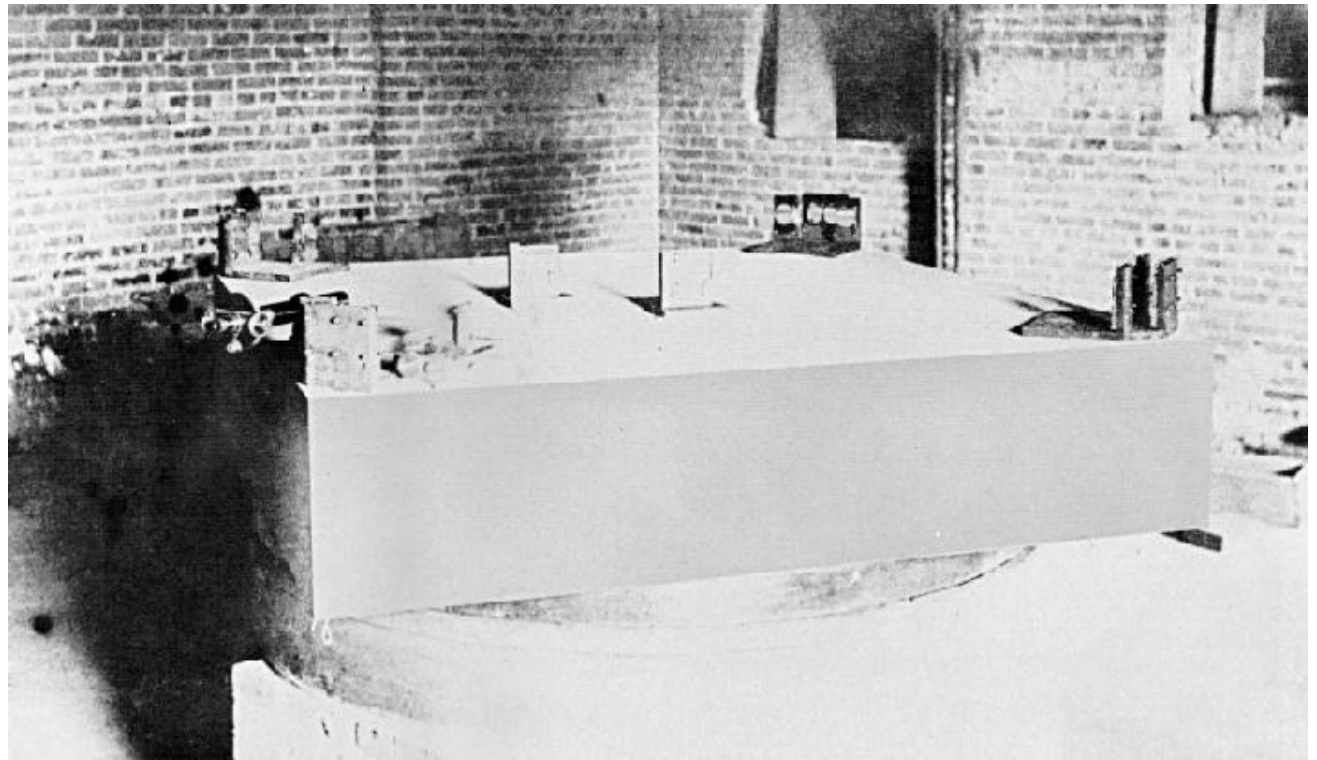
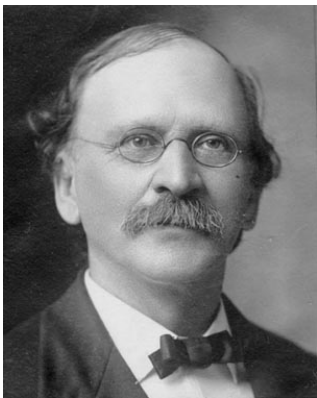
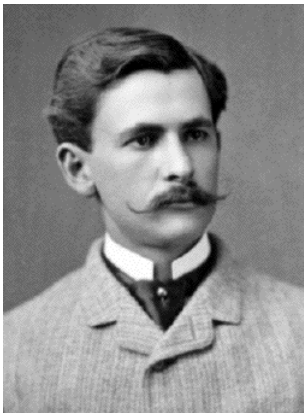
**Propriedades estranhas:**

- rígido (para que a luz tenha a velocidade altíssima que tem)**
- mas passa por dentro de materiais transparentes !**

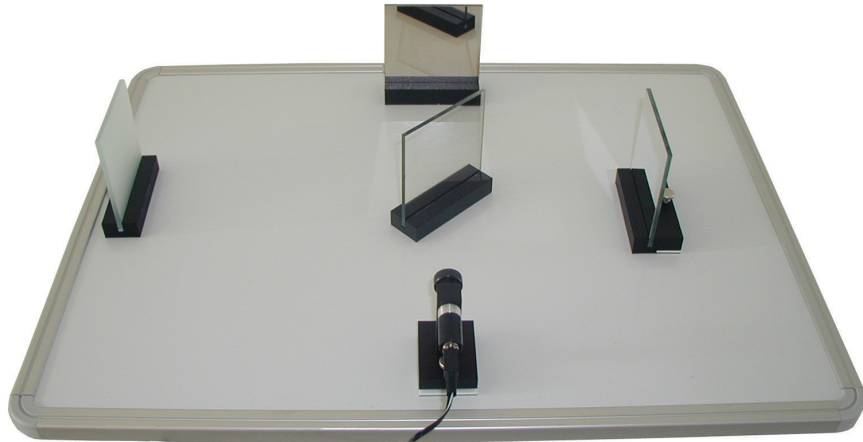
**Ideia para testar a hipótese do éter: Caso ele existisse, o movimento da Terra em relação a ele provocaria um “vento”, o que mudaria a velocidade da luz na direção do movimento da Terra, com respeito àquela na direção transversal.**

# Experimento de Michelson e Morley (1887)

Teste experimental feito usando um *interferômetro*:



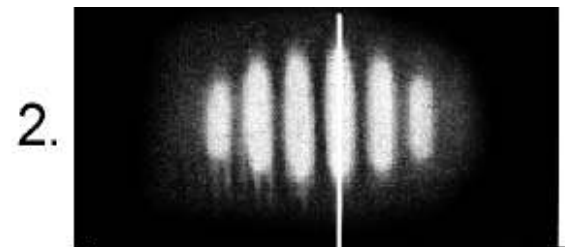
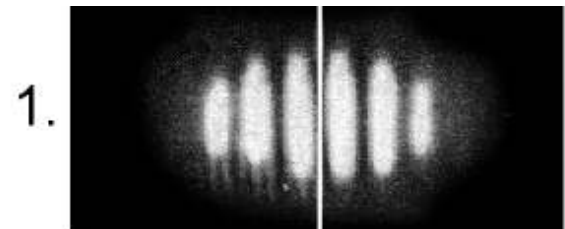
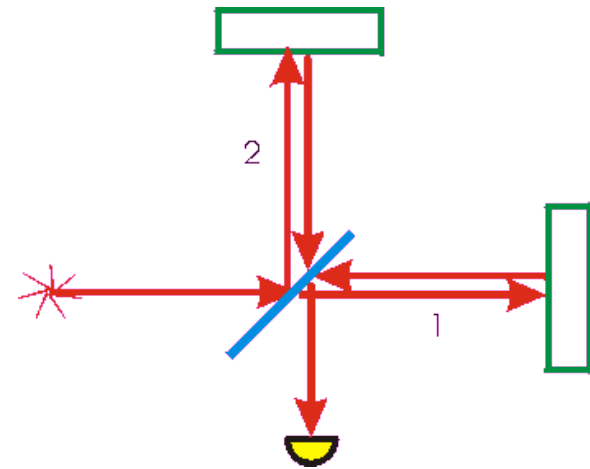
## Versão moderna do interferômetro de M & M.



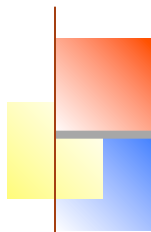
**Interferência construtiva ou destrutiva dos dois feixes leva a aparecerem zonas claras e escuras ('franças') no detector**

**Caso existisse um éter, as franjas de interferência mudariam de posição ao longo do ano.**

## Esquema simplificado



**Resultado experimental: nenhuma alteração**



# Einstein entra em cena (1905)

**"Sobre a eletrodinâmica dos  
corpos em movimento"  
Annalen der Physik. 1905 v. 17**



**Publicado junto a dois outros  
artigos, um sobre o Movimento  
Browniano e outro sobre o Efeito  
Fotoelétrico (por este último  
Einstein ganhou o Nobel)**

891

## *3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.*

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

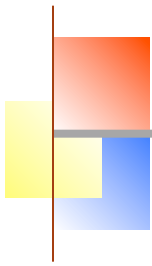
# A Relatividade de Einstein

**Solução proposta por Einstein (simples à primeira vista):  
estender o princípio de Galileu para *todos* os fenômenos  
físicos, ie, não apenas os mecânicos mas também os  
eletromagnéticos**



**O Princípio da Relatividade de Einstein:**

***“Todas as leis da Física são iguais em  
relação a qualquer referencial inercial”***



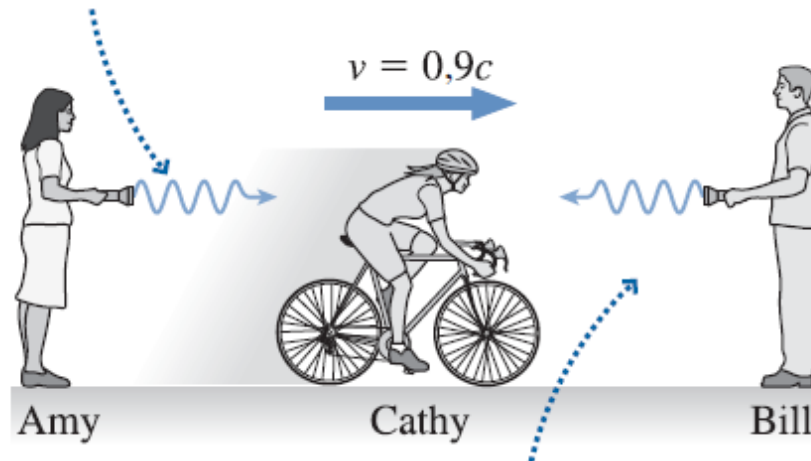
# A constância da velocidade da Luz

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300 m/\mu s$$

1. Pelo Princípio da Relatividade, as equações de Maxwell valem em todos os referenciais inerciais.
2. As equações de Maxwell prevêm que as ondas eletromagnéticas, inclusive a luz, se propagam com velocidade **c**
3. Portanto, a luz se propaga com velocidade **c** em relação a todos os referenciais inerciais!!

# A constância da velocidade da Luz

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300 m/\mu s$$

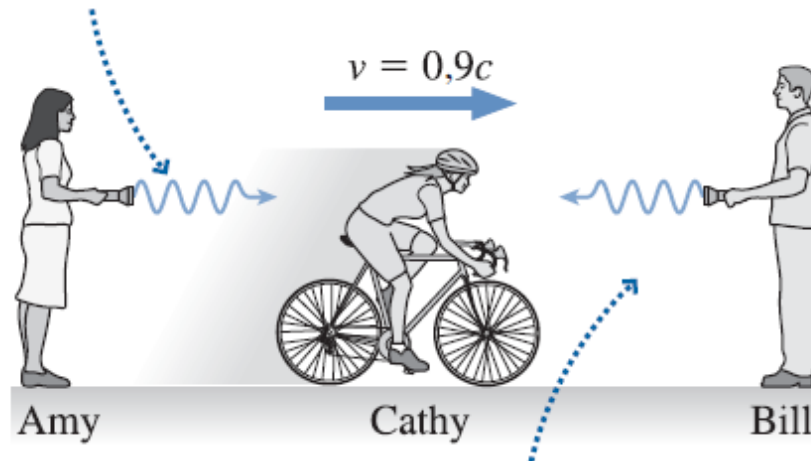


**No referencial de Cathy, os feixes de luz provenientes de Amy e Bill se aproximam de Cathy, respectivamente com velocidades**

- A)  $0,1c$  e  $1,9c$
- B)  $c$  e  $c$
- C)  $1,9c$  e  $0,1c$

# A constância da velocidade da Luz

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300 m/\mu s$$



**No referencial de Cathy, os feixes de luz provenientes de Amy e Bill se aproximam de Cathy, respectivamente com velocidades**

**A)  $0,1c$  e  $1,9c$**

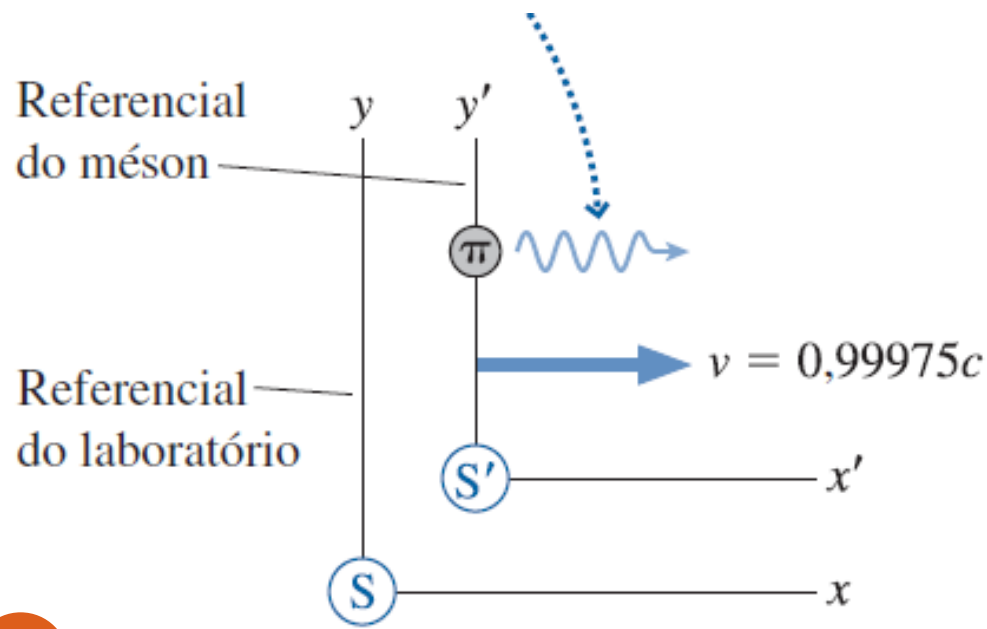
**B)  $c$  e  $c$**

**C)  $1,9c$  e  $0,1c$**

# Evidência experimental

Um tipo de partícula chamada méson  $\pi$  pode ser gerado em um acelerador de partículas viajando a velocidades altíssimas, p/ ex.  $v = 0.99975c$ .

Essas partículas decaem naturalmente, emitindo um fóton de alta energia. No referencial do méson, o fóton viaja com velocidade  $c$ .



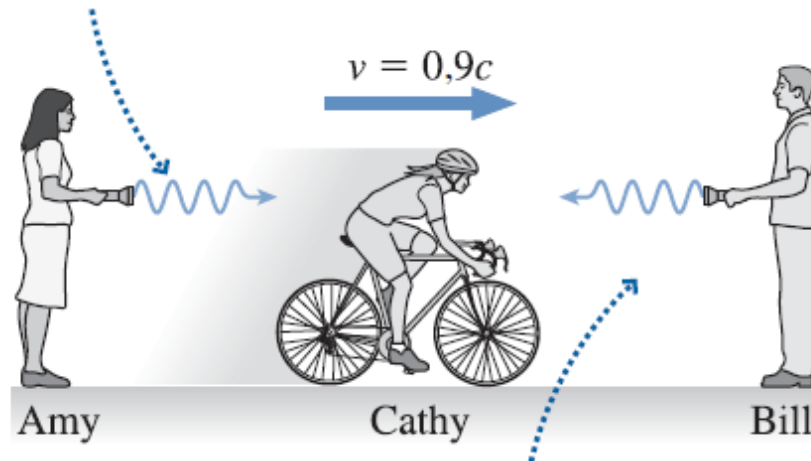
Pelo senso comum, deveríamos medir a velocidade do fóton no ref. do laboratório como  $u = 1,99975 c$ .

Mas as medidas mostram que ela continua igual a

$$u = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = c \quad !!$$

# A constância da velocidade da Luz

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300m/\mu s$$

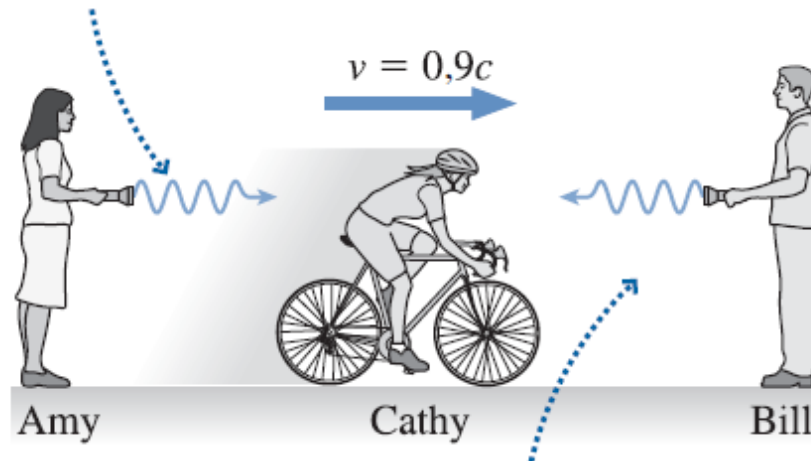


**No referencial de Amy e Bill, os feixes de luz provenientes de Amy e Bill se aproximam de Cathy, respectivamente com velocidades**

- A)  $0,1c$  e  $1,9c$
- B)  $c$  e  $c$
- C)  $1,9c$  e  $0,1c$

# A constância da velocidade da Luz

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,0 \times 10^8 m/s = 300m/\mu s$$



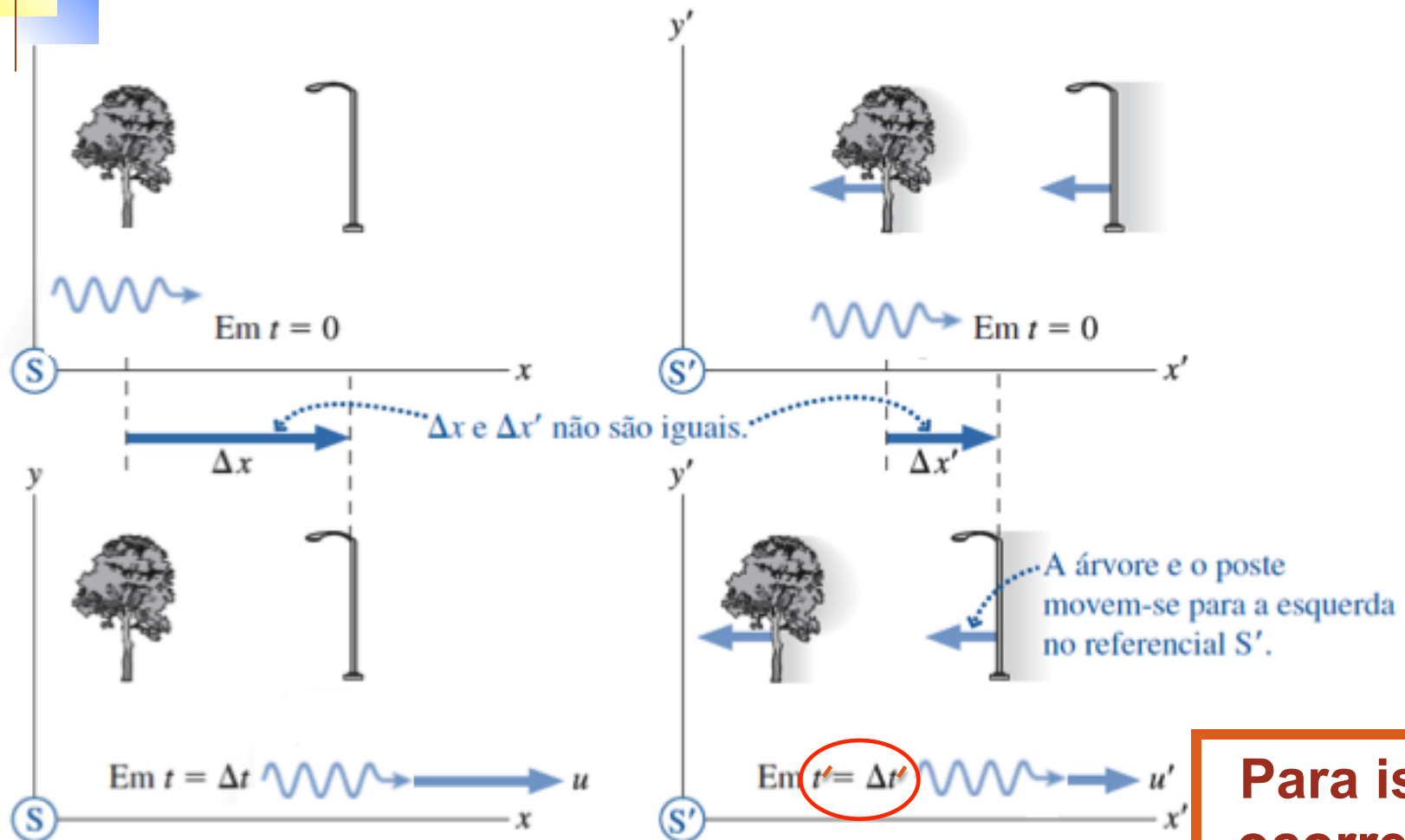
**No referencial de Amy e Bill, os feixes de luz provenientes de Amy e Bill se aproximam de Cathy, respectivamente com velocidades**

**A)  $0,1c$  e  $1,9c$**

**B)  $c$  e  $c$**

**C)  $1,9c$  e  $0,1c$**

# Como isto é possível?



Por Galileu:

$$u' = \Delta x' / \Delta t \neq u = \Delta x / \Delta t$$

Mas se ao invés da bicicleta  
temos um raio de luz:

$$u' = u = c !!$$

**Para isso  
ocorrer, é  
preciso  
 $\Delta t' \neq \Delta t$  (!!?)**