



**INSTITUTO DE FÍSICA**  
Universidade Federal Fluminense

# Física IV

**Instrutor: Prof. Daniel Jonathan**

**Sala: A3-17 (IF, andar 1P)**

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

**Site do curso: [http://cursos.if.uff.br/fisicalV\\_XXI\\_0115/](http://cursos.if.uff.br/fisicalV_XXI_0115/)**

# Calendário – 1p15 – 2ª/4ª

	Seg.	Ter.	Qua.	Qui	Sex	Sab.
Março	9	10	11	12	13	
	16	17	18	19	20	
	23	24	25	26	27	
	30	31	MT1 1	2	Feriado 3	
Abril	6	7	8	9	10	
	MT2 13	14	15	16	17	
	Recesso 20	21	22	23	24	P1 25
	27	28	MT3 29	30	Feriado 1	
Maio	4	5	6	7	8	
	11	12	MT4 13	14	15	
	18	19	20	21	22	
	25	26	MT5 27	28	29	P2 30
Junho	1	2	3	4	5	
	MT6 8	9	10	11	12	
	15	16	MT7 17	18	19	
	22	23	24	25	26	
Julho	29	30	MT8 1	2	3	P3 4
	6	7	8	9	10	VR 11
	13	14	15	16	17	VS 18
	20	21	22	23		

**P1: 25/Abr 14:15~16:15**  
**P2: 30/Mai 14:15~16:15**  
**P3: 04/Julho 14:15~16:15**  
**VR: 11/Julho 14:15~16:15**  
**VS: 18/Julho 14:15~16:15**

**Período Letivo:**  
**09/março de 2014: início**  
**18/julho de 2014: 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

# Calendário – 1p15 – 4<sup>a</sup>/6<sup>a</sup>

	Seg.	Ter.	Qua.	Qui	Sex	Sab.
Março	9	10	11	12	13	
	16	17	18	19	20	
	23	24	25	26	27	
	30	31	MT1 1	2	Feriado 3	
Abril	6	7	8	9	10	
	13	14	15	16	MT2 16	
	20	21	22	23	24	P1 25
	27	28	MT3 29	30	Feriado 1	
Maio	4	5	6	7	8	
	11	12	13	14	MT4 15	
	18	19	20	21	22	
	25	26	27	28	MT5 29	P2 30
Junho	1	2	3	4	5	
	8	9	MT6 10	11	12	
	15	16	17	18	MT7 19	
	22	23	24	25	26	
Julho	29	30	1	2	MT8 3	P3 4
	6	7	8	9	10	VR 11
	13	14	15	16	17	VS 18
	20	21	22	23		

**P1: 25/Abr 14:15~16:15**  
**P2: 30/Mai 14:15~16:15**  
**P3: 04/Jul 14:15~16:15**  
**VR: 11/Jul 14:15~16:15**  
**VS: 18/Jul 14:15~16:15**

**Período Letivo:**  
**09/março de 2014: início**  
**18/julho de 2014: 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)

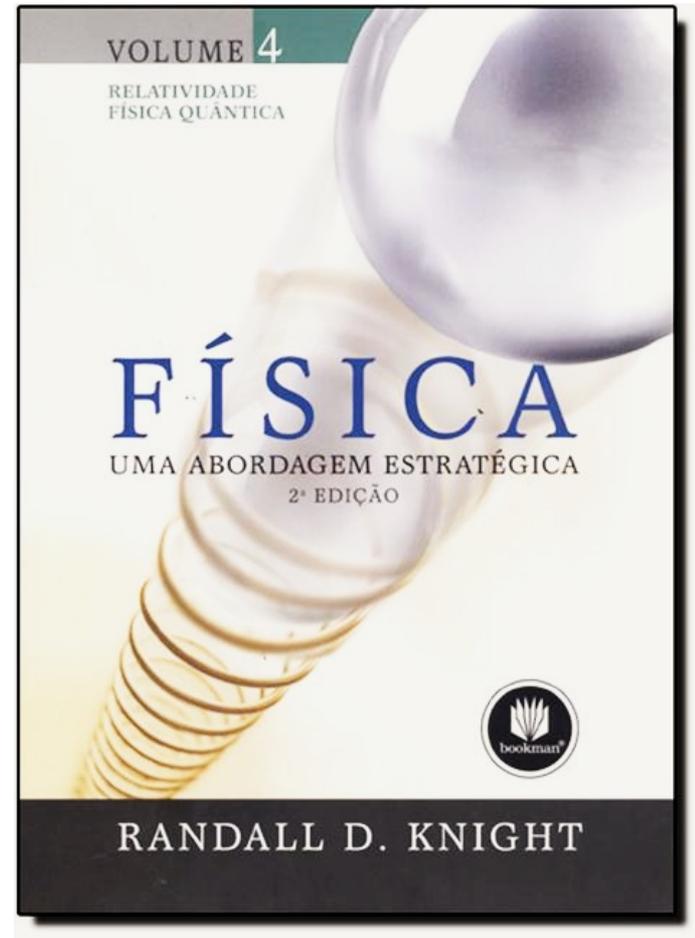
Condução elétrica nos sólidos (Halliday)

Revisão

# Livro-texto principal

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

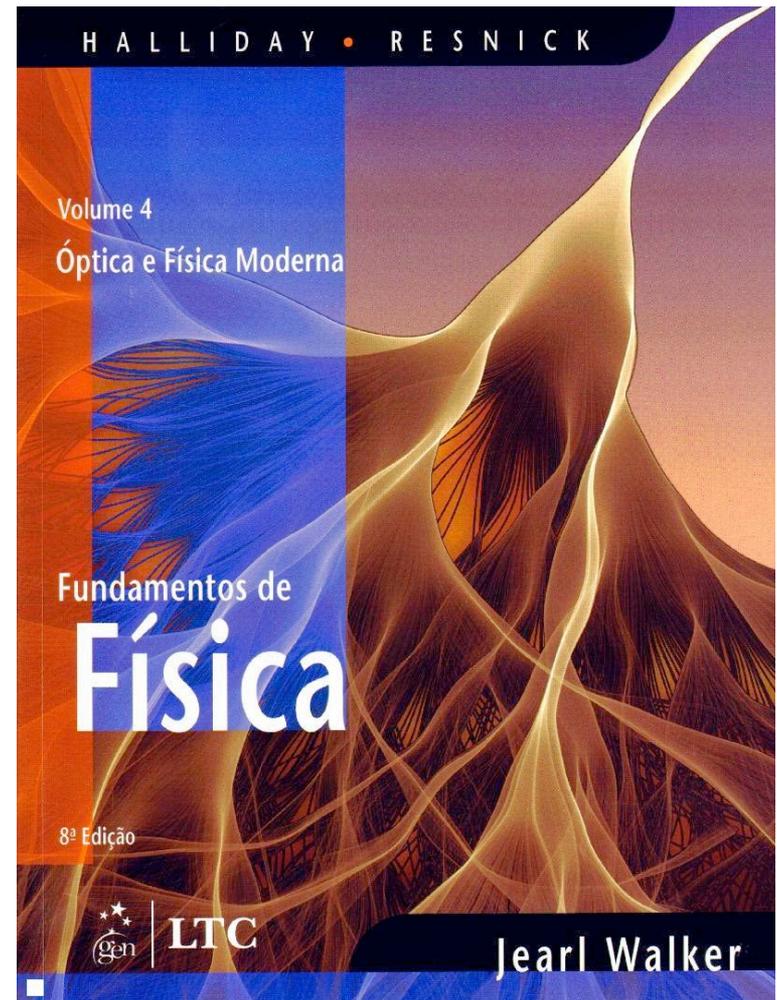
**Caps. 37 – 43**



# 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



# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de *peer instruction* (***instrução pelos colegas***). Esse método se baseia nos seguintes pontos:

# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de *peer instruction* (**instrução pelos colegas**). Esse método se baseia nos seguintes pontos:

- 1) Vocês devem ler o livro antes da aula. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes da aula.

# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de **peer instruction (instrução pelos colegas)**. Esse método se baseia nos seguintes pontos:

1) Vocês devem ler o livro **antes da aula**. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes de cada aula.

## Como funciona:

- a) Vá no site do curso e clique no link do teste
- b) Faça login com seu email do iduff (**xxx@iduff.com**)
- c) Preencha o formulário e envie antes do horário da aula

# Avaliação (T.A1 e C1)

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

**MiniTestes (~1 por capítulo) : 1 questão da lista de exs.**

**Testes de Leitura (~1 por aula): 4-5 questões textuais rápidas**

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

**+ (Média 8 MiniTestes\*) x 7,5%**

**+ (Média Testes de Leitura\*\*) x 7,5%**

**\* descontando 2 piores notas**

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

# Avaliação (T.B1)

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

**MiniTestes (~1 por capítulo) : 1 questão da lista de exs.**

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

**+ (Média 8 MiniTestes\*) x 15%**

- **descontando 2 piores notas**

# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de *peer instruction* (**instrução pelos colegas**). Esse método se baseia nos seguintes pontos:

- 1) Vocês devem ler o livro **antes da aula**. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes da aula.
- 2) Em sala, eu **não** irei explicar todo o conteúdo do livro, mas farei breves resumos de pontos da matéria, entremeados por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de **peer instruction (instrução pelos colegas)**. Esse método se baseia nos seguintes pontos:

- 1) Vocês devem ler o livro **antes da aula**. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes da aula.
- 2) Em sala, eu **não** irei explicar todo o conteúdo do livro, mas farei breves resumos de pontos da matéria, entremeados por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Os testes conceituais funcionam assim:

- i) Eu apresento um problema, vocês têm um tempo para pensar, e depois uma votação é feita

# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de **peer instruction (instrução pelos colegas)**. Esse método se baseia nos seguintes pontos:

- 1) Vocês devem ler o livro **antes da aula**. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes da aula.
- 2) Em sala, eu **não** irei explicar todo o conteúdo do livro, mas farei breves resumos de pontos da matéria, entremeados por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Os testes conceituais funcionam assim:

- i) Eu apresento um problema, vocês têm um tempo para pensar, e depois uma votação é feita
- ii) Se a maioria responder incorretamente, eu peço que cada aluno tente convencer um colega de que a sua resposta é a correta

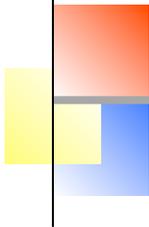
# Método interativo de ensino

Neste curso adotaremos um método de ensino que talvez seja diferente do que você está acostumado/a: o método de **peer instruction (instrução pelos colegas)**. Esse método se baseia nos seguintes pontos:

- 1) Vocês devem ler o livro **antes da aula**. A leitura será avaliada por **testes de leitura online, valendo nota**, a serem completados antes da aula.
- 2) Em sala, eu **não** irei explicar todo o conteúdo do livro, mas farei breves resumos de pontos da matéria, entremeados por **testes conceituais** de múltipla escolha. Estes envolvem pouca ou nenhuma matemática, e **não valem nota**.

Os testes conceituais funcionam assim:

- i) Eu apresento um problema, vocês têm um tempo para pensar, e depois uma votação é feita
- ii) Se a maioria responder incorretamente, eu peço que cada aluno tente convencer um colega de que a sua resposta é a correta
- iii) Após alguns minutos eu faço uma segunda votação. Se agora a maior parte acertar, eu passo para o próximo tópico. Se a maior parte ainda erra eu faço uma breve explicação sobre a resposta correta, e se possível apresento outra questão conceitual sobre o mesmo tema.



# Teste conceitual

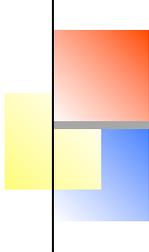
---

**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**



# Pesquisa

---

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

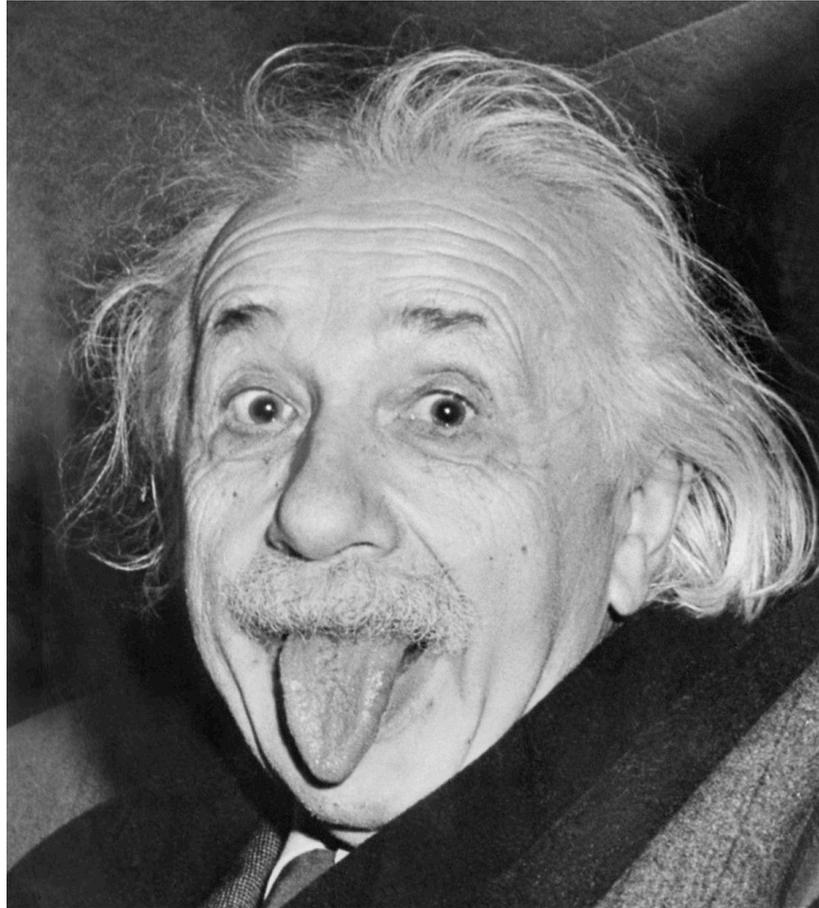
**A) Tem a ver com um tal de Einstein.**

**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.**

# Relatividade



**A. Einstein (1879 – 1955)**

# Relatividade



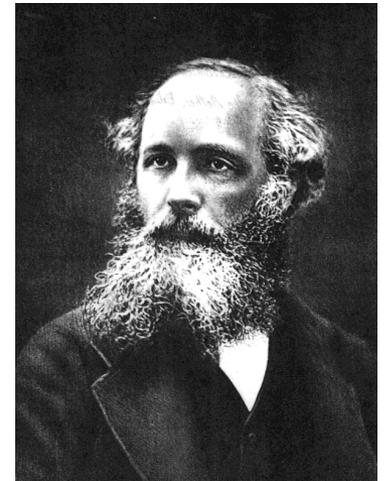
**A. Einstein em 1905, aos 26 anos**



**G. Galilei**



**I. Newton**

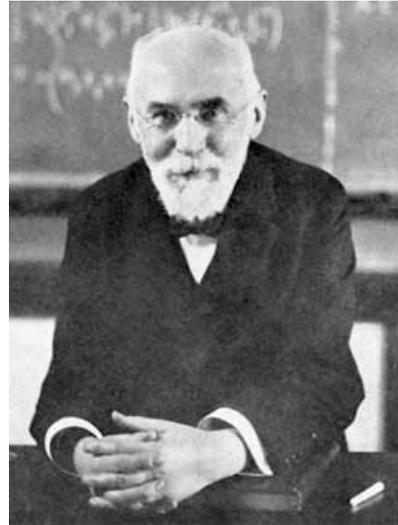


**J.C. Maxwell**

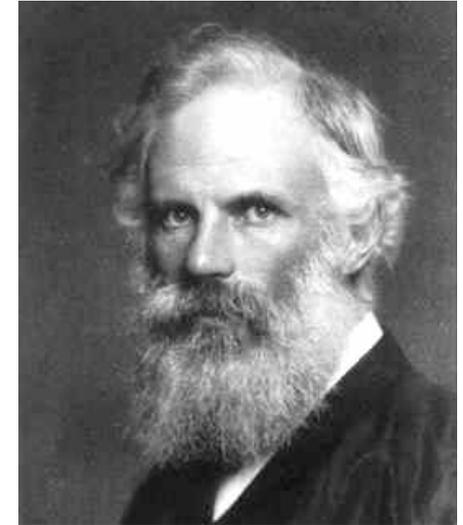
# Outros personagens dessa história



**Poincaré**



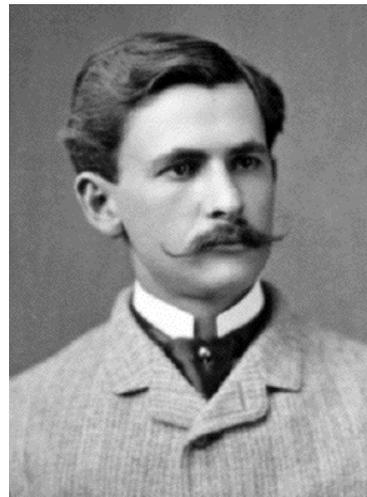
**Lorentz**



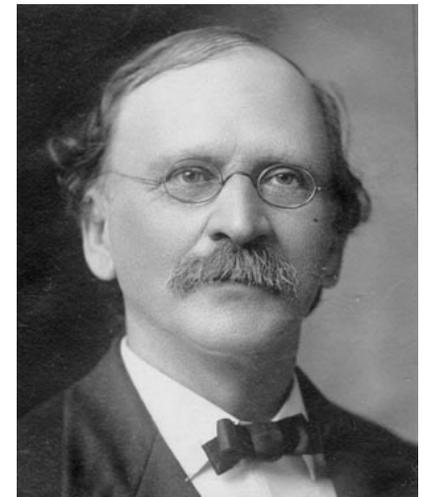
**FitzGerald**



**Minkowski**



**Michelson**



**Morley**

# A Relatividade de Galileu



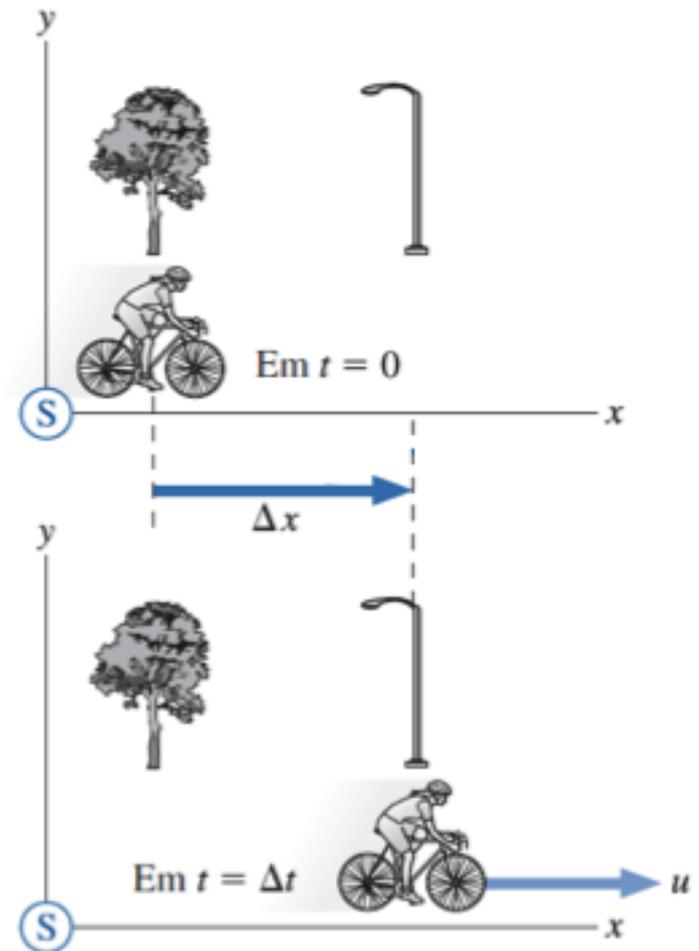
- O princípio da relatividade de Galileu Galilei é descrito em seu livro "Diálogos sobre dois sistemas máximos do mundo" (1632).
- Em certo ponto, os personagens discutem se uma pessoa em uma cabine fechada de um navio em movimento é ou não capaz de perceber este movimento pela observação do comportamento 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 ..."***

**Em outras palavras: a velocidade de um objeto não é absoluta, mas relativa a um referencial**

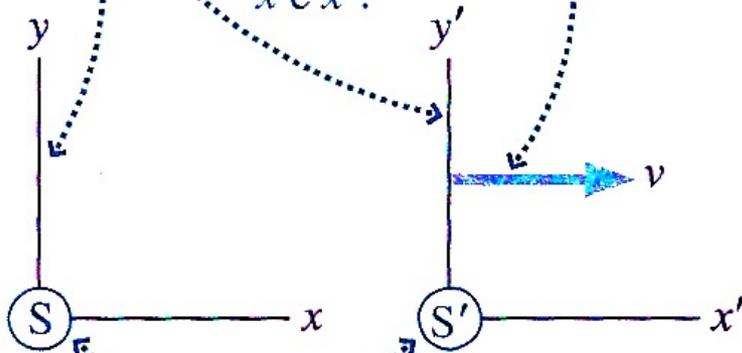
# Referenciais

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

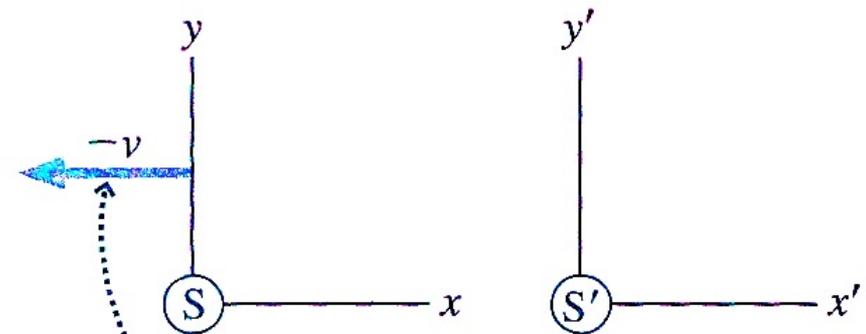


# Referenciais

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  $x'$ .

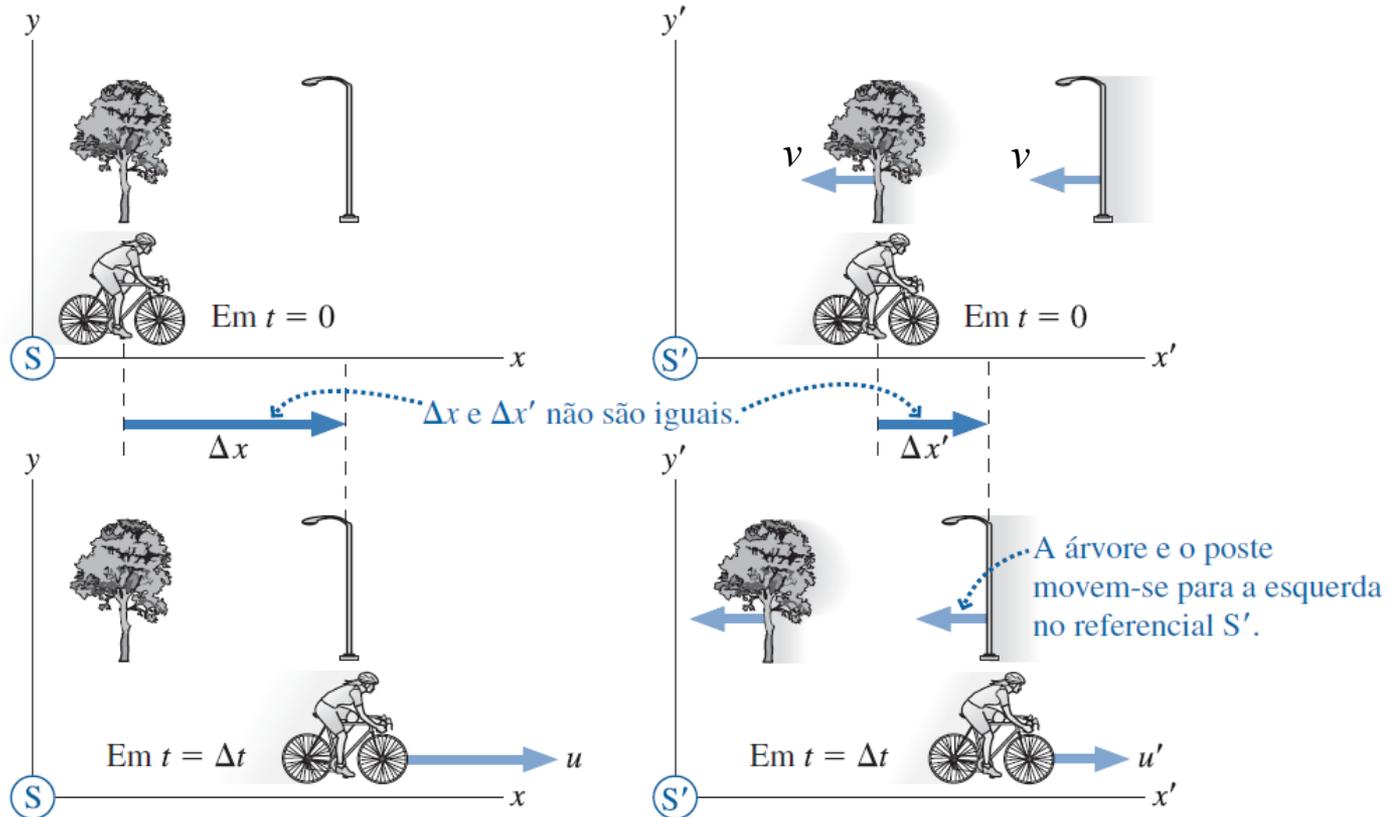


3. As origens de  $S$  e  $S'$  coincidem no instante  $t = 0$ . Essa é a nossa definição de  $t = 0$ .



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

# Transformações de Galileu



$$x = x' + vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

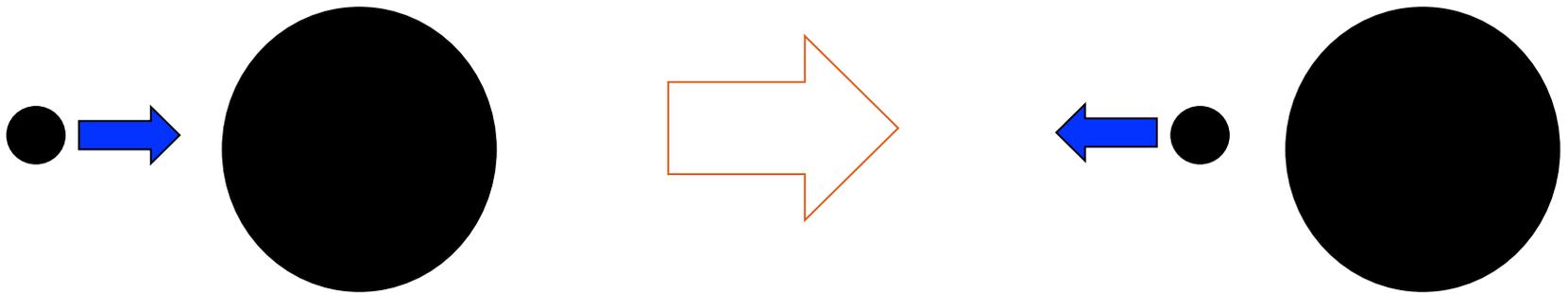
$$u_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + v = u'_x + v$$

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

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

# Teste conceitual: referenciais

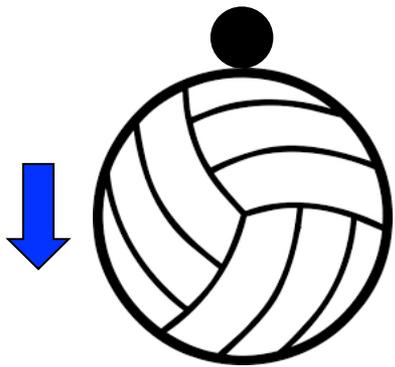
Quando uma bola pequena colide com outra grande e pesada, inicialmente em repouso, esta última tende a continuar em repouso, enquanto a bola pequena quica de volta praticamente com a mesma velocidade inicial



Suponha agora que uma bola grande, de massa  $M$ , se movendo com velocidade  $v$ , atinge uma 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)  $2mv$

# 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 ?

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**

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

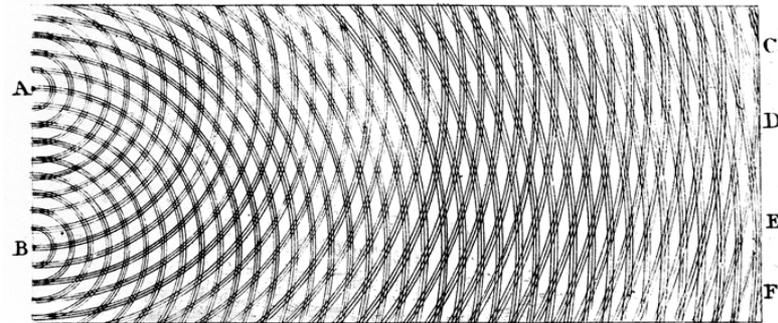
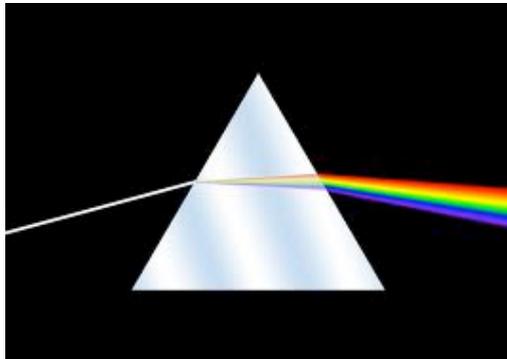
**O Princípio da Relatividade de Galileu, versão de Newton:**

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

# E a luz?

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

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

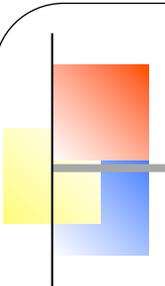


**Meados do séc XIX: eqs de Maxwell descrevem todos os fenômenos elétricos, magnéticos e ópticos (unificação).**

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

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

**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...**

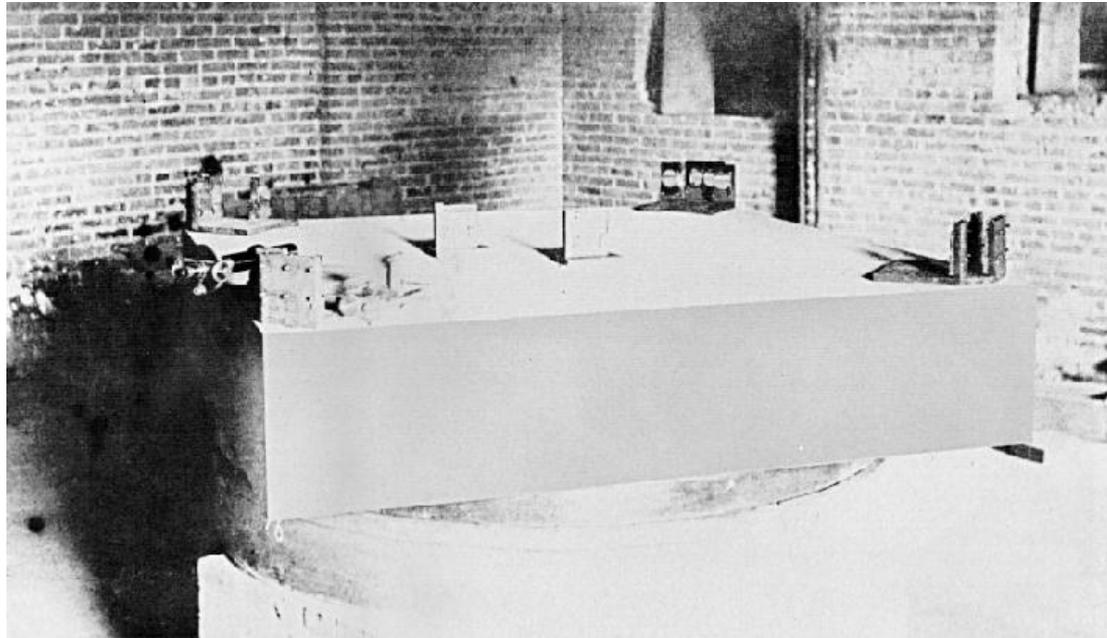
**Propriedades estranhas:**

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

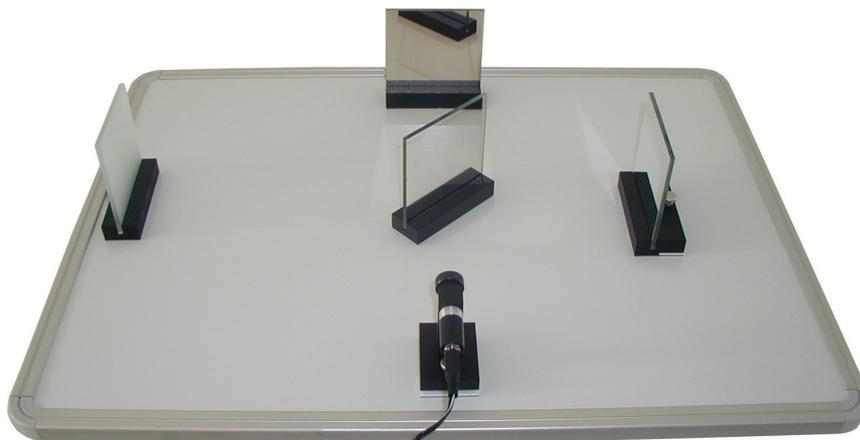
**A busca do éter se torna um dos grandes problemas experimentais e teóricos do final do século XIX.**

**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.**

**Teste experimental feito por Michelson e Morley (1887)  
usando um *interferômetro*:**

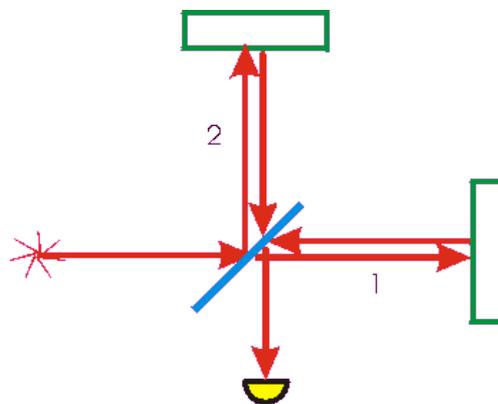


**Versão moderna do interferômetro de M & M.**



**Esquema simplificado do que acontece**

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



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

**Resultado experimental: nenhuma alteração**

# O artigo de Einstein (1905)

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

**Publicado junto a dois outros  
artigos: movimento  
browniano e 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

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



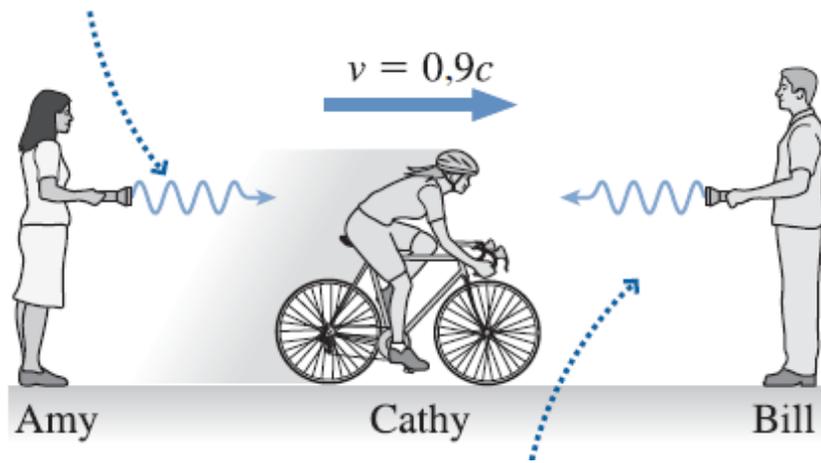
**O Princípio da Relatividade de Einstein:**

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

# A constância da velocidade da Luz

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

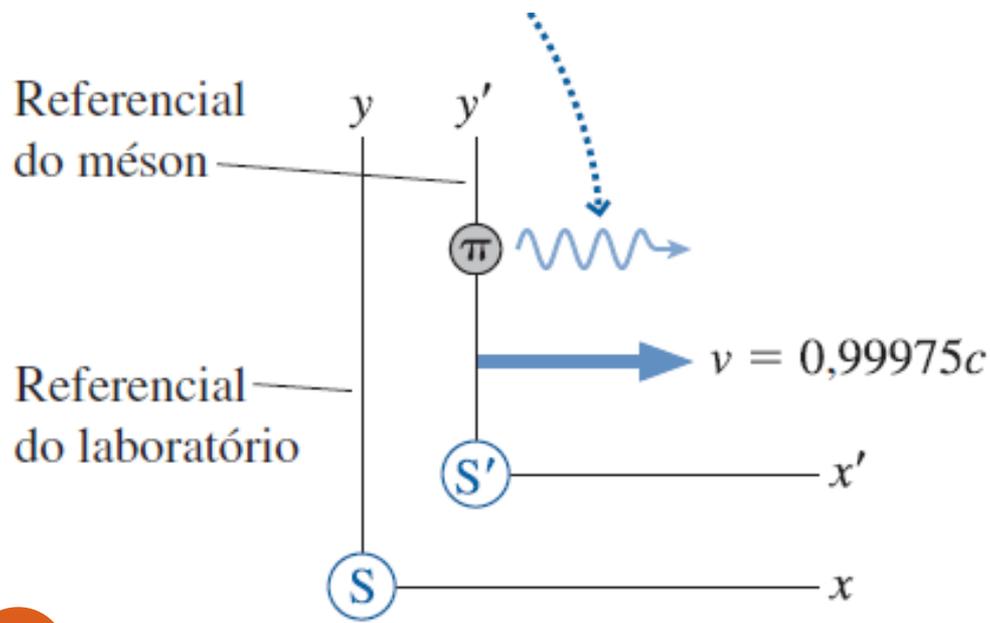
1. Pelo Princípio da Relatividade, as equações de Maxwell valem em todos os referenciais inerciais.
2. As equações de Maxwell prevêm que as ondas eletromagnéticas, inclusive a luz, se propagam com velocidade  $c$
3. Portanto, a luz se propaga com velocidade  $c$  em relação a todos os referenciais inerciais!!



**Cathy também tem de ver tanto a luz vinda de Bill quanto a vinda de Amy se propagando com velocidade  $c$  !**

# Evidência experimental !

Um tipo de partícula elementar chamada méson  $\pi$  pode ser gerado em laboratório (acelerador de partículas) viajando a velocidades altíssimas, p/ ex.  $v = 0.99975c$ . Essas partículas decaem, emitindo um fóton de alta energia. No referencial do méson, o fóton viaja com velocidade  $c$ .



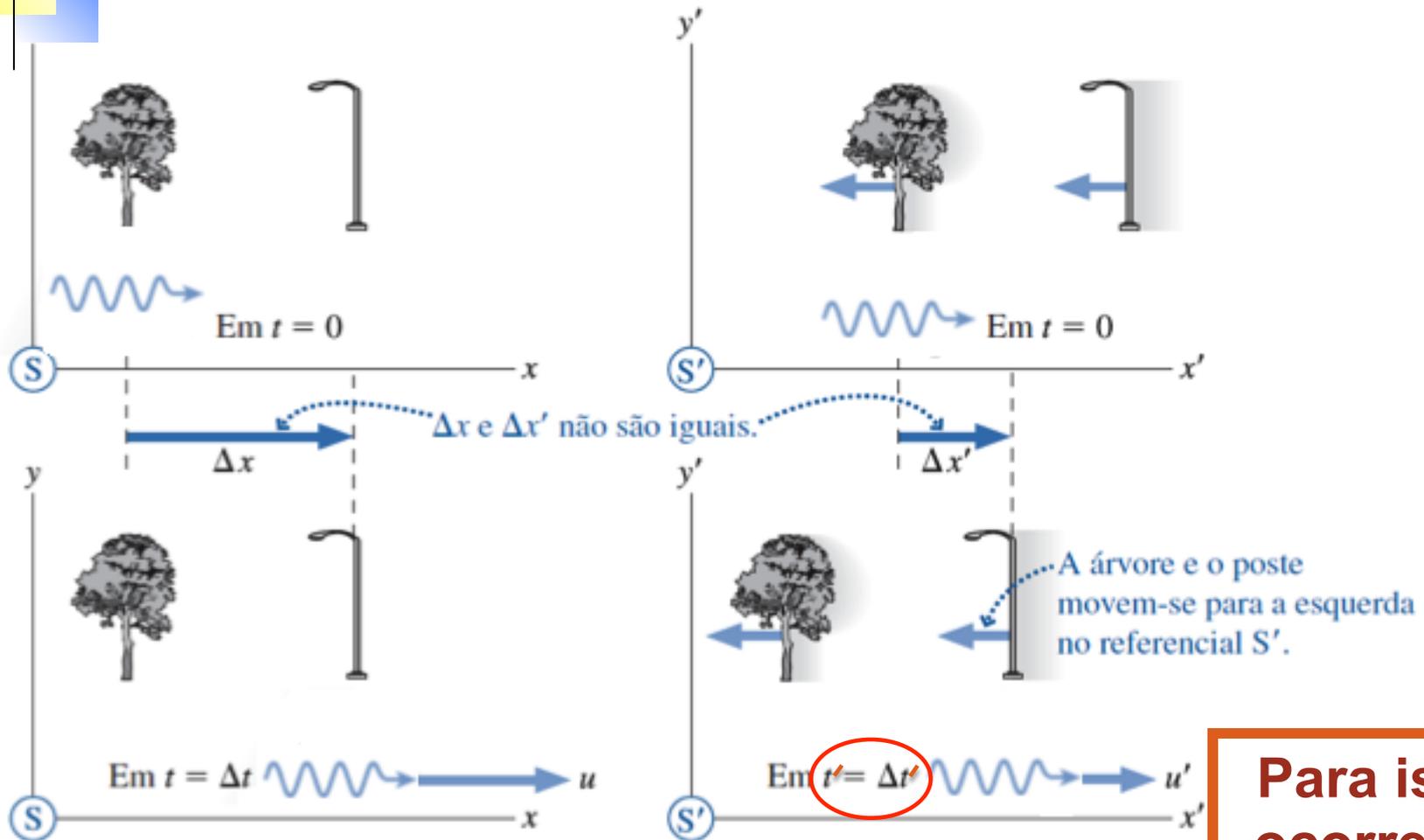
Pelo senso comum, deveríamos medir a velocidade do fóton no ref. do lab. como

$$u = 1,99975 c.$$

Mas as medidas mostram que ela continua igual a

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

# 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  
 $\Delta t' \neq \Delta t$  (!!?)**