

Aula 3: Relatividade restrita

Bárbara Amaral

Instituto de Física da USP

Bibliografia

- ▶ Moysés: seção 6.1 e 6.2.
- ▶ Feynman: seções 15.1 e 15.3.
- ▶ Young and Freedman: seção 37.1.

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com velocidade igual a c .

A qual referencial essa velocidade se refere?

Opção 1

A mecânica newtoniana e as equações de Maxwell estão corretas, mas o princípio da relatividade não se aplica às leis do eletromagnetismo.

A previsão de que a velocidade da luz é c estaria restrita a um referencial inercial privilegiado.

Conjecturou-se a existência de um meio material, chamado **éter**, que permearia todo o espaço e que permitiria a propagação das ondas eletromagnéticas.

Se o éter existisse como referencial privilegiado, seria possível detectar um movimento retilíneo uniforme em relação a ele utilizando experiências com a propagação da luz.

A validade da hipótese 1 pode ser experimentalmente verificada!

Opção 2

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e a mecânica newtoniana está correta, mas as equações de Maxwell precisam ser modificadas.

Se isso fosse verdade, veríamos discrepâncias entre as previsões da eletrodinâmica e os dados experimentais.

A validade da hipótese 2 pode ser experimentalmente verificada!

Opção 3

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e as equações de Maxwell estão corretas, mas a mecânica newtoniana precisa ser modificada.

Se isso fosse verdade, veríamos discrepâncias entre as previsões das leis de Newton e os dados experimentais.

A validade da hipótese 3 pode ser experimentalmente verificada!

A única opção compatível com os dados experimentais é a opção 3!

O experimento de Michelson e Morley

Teste experimental da opção 1.

Teste da existência do éter

O éter seria um meio que permeia todo o espaço e que permite a propagação da luz.

Teste da existência do éter

O éter seria um referencial especial e a velocidade da luz é c somente em relação a esse referencial.

A mecânica newtoniana e as equações de Maxwell estão corretas, mas o princípio da relatividade não se aplica às leis do eletromagnetismo.

Se a opção 1 fosse válida, seria possível detectar um movimento retilíneo em relação ao éter utilizando a transformação de Galileu para velocidades.

A velocidade da luz em um referencial em movimento em relação ao éter deveria ser diferente para diferentes direções.

Durante metade do ano, um referencial na Terra tem velocidade u de pelo menos 30km/s em relação a qualquer referencial inercial.

Isso daria desvios da ordem de

$$\frac{u}{c} \geq 10^{-4}$$

na velocidade da luz.



MICHELSON



MORLEY

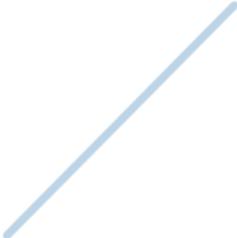
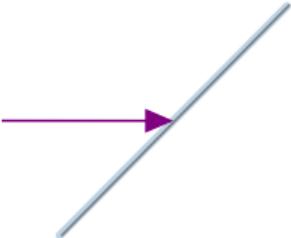
O interferômetro de Michelson

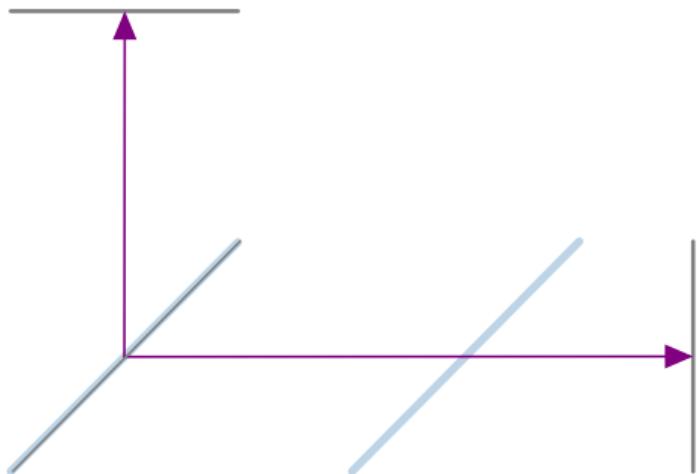
—

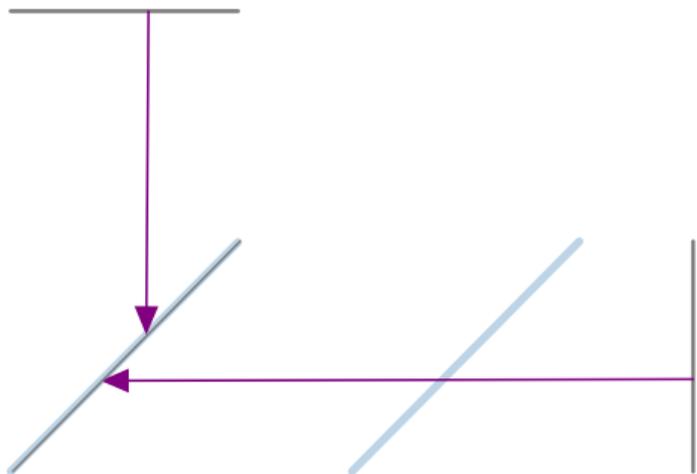
↗

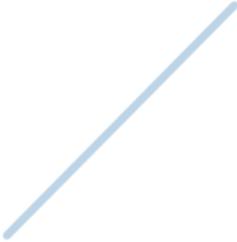
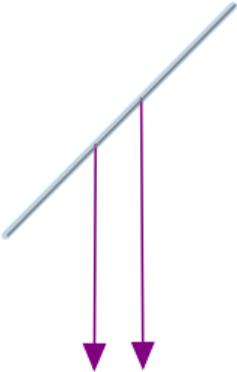
↗

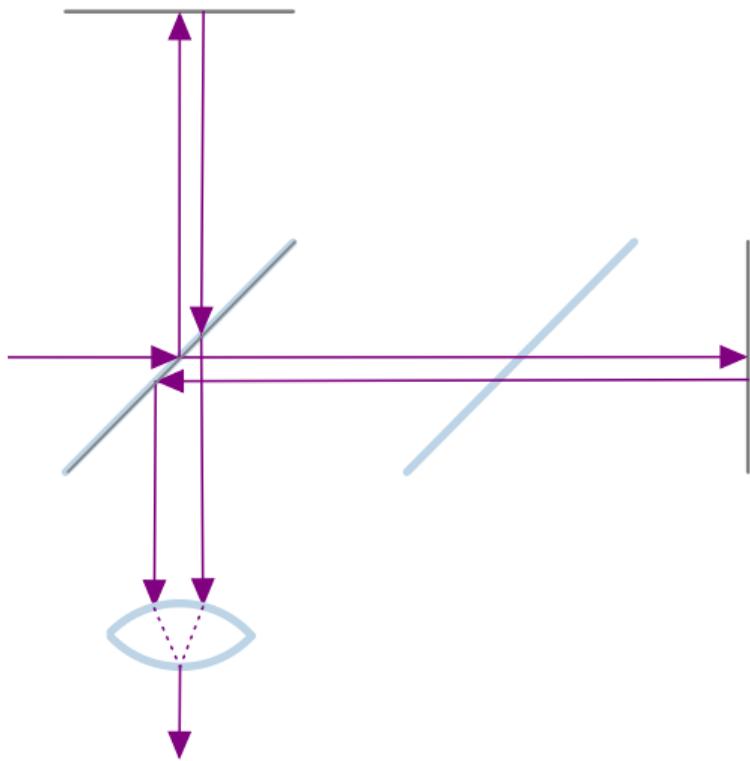
|

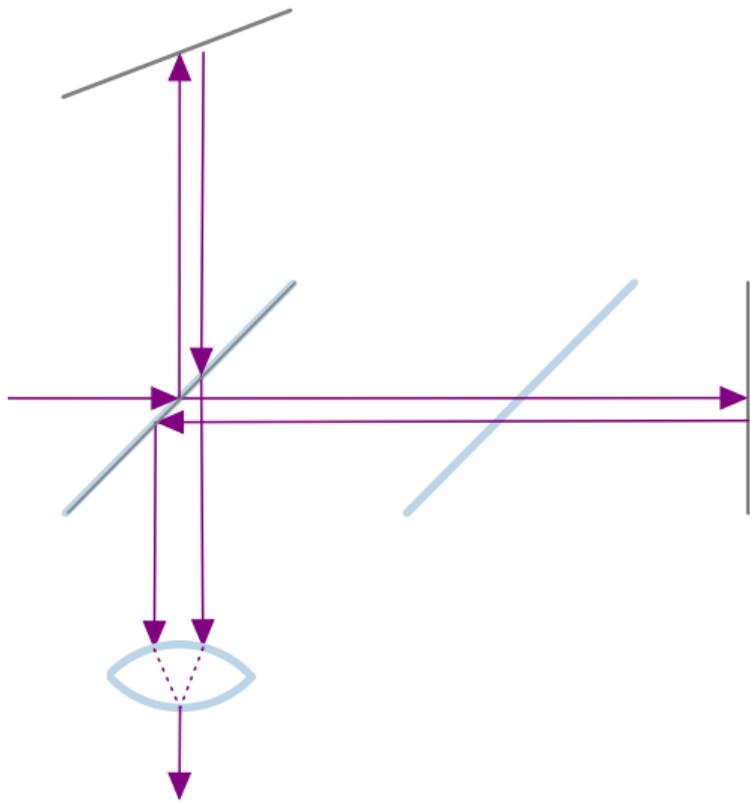


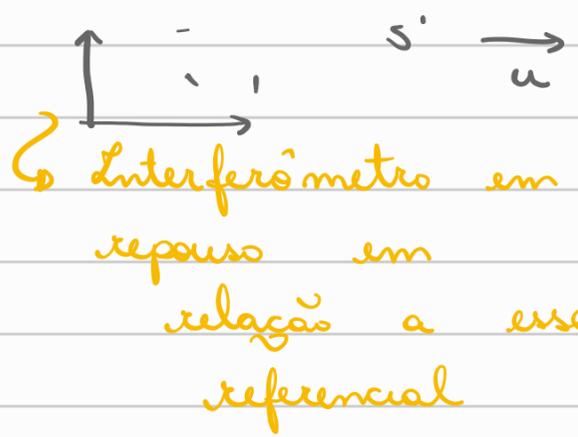








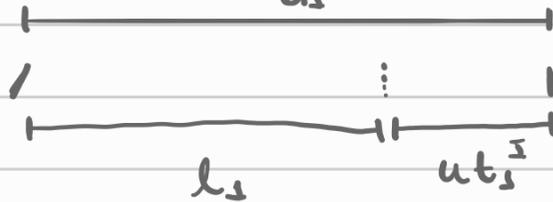




A velocidade da luz é c em S

* Braço horizontal no referencial S

Lda



velocidade da luz: c
 Tempo gasto: t_s^I

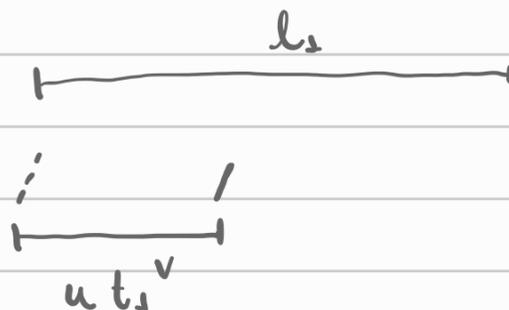
$$d_s = l_s + ut_s^I = ct_s^I$$

$$l_s = ct_s^I - ut_s^I$$

$$t_s^I = l_s / (c - u)$$

volta:

Tempo: t_s^V



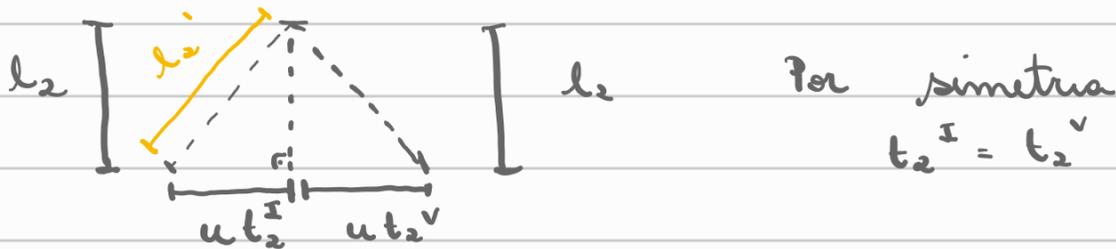
$$ct_s^V = l_s - ut_s^V$$

$$t_s^V = l_s / (c + u)$$

$$t_1 = \frac{l_1}{c-u} + \frac{l_1}{c+u} = \frac{(c+u)l_1 + (c-u)l_1}{(c-u)(c+u)}$$

$$t_1 = \frac{2cl_1}{c^2 - u^2}$$

* Braco vertical no referencial S



$$(l_2')^2 = (ut_2^I)^2 + (l_2)^2$$

$$(ct_2^I)^2 = (ut_2^I)^2 + l_2^2$$

$$c^2(t_2^I)^2 - u^2(t_2^I)^2 = l_2^2$$

$$(t_2^I)^2 = \frac{l_2^2}{c^2 - u^2}$$

$$t_2^I = \frac{l_2}{\sqrt{c^2 - u^2}}$$

AU AU AU

Miau!

$$t_2 = t_2^I + t_2^V = \frac{2l_2}{\sqrt{c^2 - u^2}}$$

$$t_1 = \frac{2cl_1}{c^2 - u^2}$$

* Diferença de caminho ótico

$$\Delta = c(t_1 - t_2) = \frac{2c^2 l_1}{c^2 - u^2} + \frac{2cl_2}{(c^2 - u^2)^{1/2}}$$

Girando o experimento 90°

$$\Delta' = \frac{2c^2 l_2}{c^2 - u^2} + \frac{2cl_1}{(c^2 - u^2)^{1/2}}$$

Comparando Δ e Δ' , deveria haver um deslocamento perceptível nas franjas de interferência!

Girando o interferômetro 90° , temos uma variação na diferença de caminho dada por:

$$\Delta' - \Delta = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}}(l_1 + l_2) \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right]$$

Isso implica um deslocamento perceptível no padrão de interferência.

Nenhum deslocamento das franjas de interferência é observado!

A hipótese de um éter estacionário é incorreta!

Opção 2

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e a mecânica newtoniana está correta, mas as equações de Maxwell precisam ser modificadas.

Precisamos alterar as leis de Maxwell.

Teoria da Emissão de W. Ritz: c é a velocidade da luz em relação a fonte.

Essas tentativas também não se sustentam diante dos dados experimentais.

As equações de Maxwell são confirmadas como leis físicas válidas em todos os referenciais.

Opção 3

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e as equações de Maxwell estão corretas, mas a mecânica newtoniana precisa ser modificada.

Princípio da relatividade restrita

As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

Princípio da constância da velocidade da luz

A velocidade da luz no vácuo é c em relação a todos os referenciais.

Precisamos alterar as leis da mecânica newtoniana.

Opção 3

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e as equações de Maxwell estão corretas, mas a mecânica newtoniana precisa ser modificada.

Princípio da relatividade restrita

As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

Princípio da constância da velocidade da luz

A velocidade da luz no vácuo é c em relação a todos os referenciais.

Precisamos alterar as leis da mecânica newtoniana.