

VÍDEO PARA ENSINAR OS POSTULADOS DA RELATIVIDADE RESTRITA NA SALA DE AULA A PARTIR DO INTERFERÔMETRO DE MICHELSON.

VIDEO TO TEACH THE POSTULATES OF RESTRICTED RELATIVITY IN THE CLASSROOM FROM MICHELSON'S INTERFEROMETER.

Solano Pereira Pinto¹, Wagner Franklin Balthazar²

¹Instituto Federal do Rio de Janeiro, pereirasolano42@gmail.com

² Instituto Federal do Rio de Janeiro, wagner.balthazar@ifrj.edu.br

Resumo

Neste trabalho, apresentaremos um vídeo e seu roteiro com os principais resultados experimentais encontrados por Albert Michelson, no final do século XIX, na busca pelo éter luminífero. Também apresentaremos uma das consequências de sua pesquisa com o interferômetro, as transformações de Lorentz. O vídeo é parte de um projeto que visa uma Sequência de Ensino por Investigação para ensinar Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio a partir dos trabalhos de Albert Michelson.

Palavras-chave: Interferômetro de Michelson, Teoria da Relatividade Restrita, Ensino por Investigação.

Abstract

In this work, a video and its script with the main experimental results found out Albert Michelson, at the end of the 19th century, in his search for luminiferous ether. We also present one of the consequences of his research with the interferometer, the Lorentz transformations. The video is part of a project that aims at a Inquiry-based learning to teach Theory of Special Relativity in High School based on the works of Albert Michelson.

Keywords: Michelson interferometer, Theory of Special Relativity, Inquiry-based learning.

Introdução

No século XIX o éter tinha um papel fundamental na física, pois era o meio no qual as ondas eletromagnéticas se propagavam. A busca pelo éter foi um dos grandes empreendimentos experimentais da história da ciência e ficou personificada através do trabalho de Albert Michelson (MICHELSON, 1881; MICHELSON e MORLEY 1886,1887). Além da busca pelo éter, o trabalho envolve um dos aparatos experimentais que mais contribuíram para física experimental, o interferômetro de Michelson. Outra consequência desse trabalho foram as transformações de Lorentz, que modelam a alteração do comprimento em um dos braços do interferômetro (LORENTZ, 1904). Albert Einstein, em 1905, utiliza as transformações de Lorentz, para resolver o problema das equações de Maxwell, que não são invariantes mediante uma transformação de Galileu, mas são mediante uma transformação de Lorentz.

Apesar de alguns defenderem que Einstein nunca leu os trabalhos de Michelson (HOLTON, 1969), existem evidências que ele já conhecia o trabalho de Michelson desde 1899 (VAN DONGEN, 2009).

De fato, podemos considerar que existe no mínimo uma ligação muito forte entre os trabalhos de Michelson e Einstein, as transformações de Lorentz. Ele explicou o que estava acontecendo pensando numa propriedade misteriosa do recém descoberto elétron, que seria responsável pela contração do tamanho de um dos braços do interferômetro que movia através do éter, na mesma direção da velocidade da Terra (LORENTZ, 1904). Daí surgiu o conhecido fator de Lorentz, $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

No que se refere ao ensino, Ribeiro e Balthazar (2018) realizaram uma pesquisa onde estudaram 7 artigos publicados por Michelson com objetivo de entender o motivo pelo qual Michelson procurou pelo éter por um período de 41 anos, afirmando ter encontrado evidências experimentais de sua existência 1925. Essa pesquisa também foi utilizada para avaliar as informações históricas presentes nos livros didáticos, uma vez que muitos procuram utilizar o interferômetro de Michelson para introduzir a teoria da relatividade. Esse é um caminho natural se considerarmos a importância da discussão sobre o éter, no contexto do interferômetro, para os postulados da relatividade: 1º) as leis da Física são as mesmas em todos os sistemas referenciais inerciais. Isso implica na não existência de um referencial absoluto; 2º) A velocidade da luz no vácuo, c , é a mesma para todos os referenciais inerciais. Para o primeiro postulado, Einstein assume que era possível fazer uma teoria sem o éter. Para o segundo, é possível pensar como uma consequência do próprio resultado encontrado por Michelson, uma vez que seu experimento não mostra a diferença de fase esperada devido a diferença da velocidade da luz em cada braço do interferômetro. Assim, a velocidade da luz c era uma invariante para o experimento (LIMA e SASSE, 2017).

Nessa perspectiva, apresentaremos nesse trabalho um roteiro de vídeo que é parte de um projeto para ensinar a Teoria da Relatividade Restrita a partir do interferômetro de Michelson, na perspectiva do ensino por investigação. O roteiro do vídeo proposto nesse trabalho é um recorte dessa atividade investigativa e foi desenvolvido em 4 cenas: **1** - O que é o interferômetro de Michelson? **2** - Quais resultados eles esperavam encontrar? **3** - Quais são os resultados experimentais que eles encontraram? **4** - Como explicar o que estava acontecendo?

Dos ponto vista metodológico, a composição das cenas do vídeo foi realizada com base em dois aspectos: o primeiro histórico e o segundo com vistas a proporcionar uma atividade investigativa. Com relação ao primeiro, utilizamos pesquisa histórica, restrita a sete trabalhos realizados por Albert Michelson em sua busca pelo éter luminífero (RIBEIRO e BALTHAZAR, 2018; RIBEIRO, 2018). Nesse sentido, buscamos utilizar a própria motivação original dos trabalhos de Michelson, bem como de suas consequências, para definir as cenas que compõe o vídeo.

Com relação ao segundo aspecto, devemos observar: a importância da determinação do problema; passagem da ação manipulativa à intelectual; a tomada de consciência dos atos do processo de resolução; explicação científica do problema (CARVALHO, 2011). Visando a atividade investigativa, a primeira cena é proposta para permitir a contextualização do problema e, conseqüentemente, sua determinação. A cena 2 e 3 são propostas para permitir a comparação entre as possíveis explicações

dadas pelos estudantes para pergunta sobre o que era esperado e o que de fato eles encontraram. A cena 4 tem por objetivo parte da explicação científica do problema.

Nesse cenário, buscamos mais que uma nova maneira de discutir o tema em sala de aula, mas o engajamento dos alunos sobre o saber e fazer ciência. Por isso, as referências históricas são tão importantes nesse trabalho, uma vez que perguntas que norteiam as discussões e suas descobertas em uma determinada época são a base para propormos as perguntas que nortearão a atividade em sala de aula.

É importante reforçar que o vídeo aqui apresentado é apenas um recorte do projeto. Numa perspectiva mais geral, a etapa primeira etapa do projeto visa uma série de atividades para entender o que motiva a busca por evidências do éter luminífero. A segunda etapa envolve produzir animações em vídeo que permitam aos alunos a interação com o experimento. A terceira e última atividade tem por objetivo avaliar as consequências do experimento, postulados da relatividade, dilatação do tempo e a contração do espaço. As etapas compõe uma sequência de ensino por investigação.

Acreditamos que este tema bem explorado em sala de aula pode enriquecer muito a concepção que o aluno tem da ciência e da própria forma como ela é construída.

Roteiro do vídeo

Cena 1: O que é o interferômetro de Michelson?

Nessa cena, o objetivo é apresentar o interferômetro e seu funcionamento. Para isso, apresentamos todos os componentes necessários para realização do experimento, bem como a divisão dos feixes e os padrões de interferência conforme mostra a Figura 1.

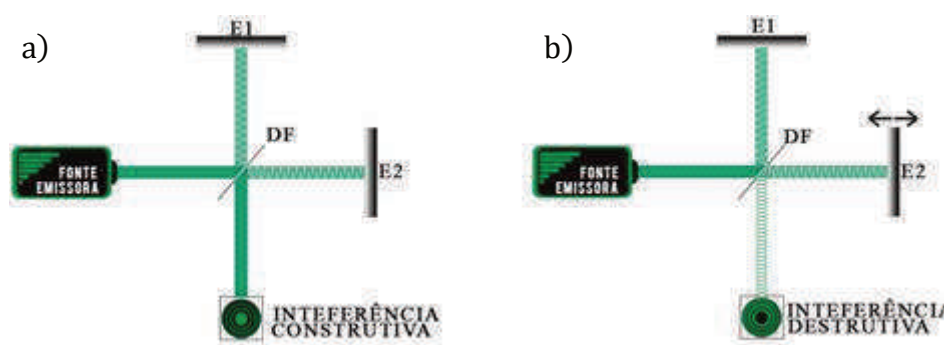


Figura 1-Interferômetro de Michelson. a) os braços tem o mesmo comprimento e geram um padrão de interferência construtiva. b) os braços tem comprimentos diferente geram padrão de interferência destrutiva.

Se considerarmos um interferômetro com dois braços iguais, $L_1 = L_2$, teremos uma interferência construtiva, Figura 1A. Caso os braços tenham tamanhos diferentes, um exemplo específico, $\Delta L = L_1 - L_2 = \lambda/2$, teremos um padrão de interferência destrutiva, Figura 1B. No vídeo mostramos como a interferência destrutiva aparece devido a uma diferença de fase, que é colocada movimentando o espelho E2.

Cena 2: O que eles esperavam encontrar?

Nessa cena, o objetivo é mostrarmos o que eles esperavam encontrar com o experimento. Se tomarmos como referência o interferômetro configurado para interferência construtiva, a expectativa era encontrar um padrão de interferência diferente quando um dos braços do interferômetro se movimentasse na mesma direção da velocidade da Terra em relação ao Éter. Um esquema com partes do vídeo está representado na Figura 2.

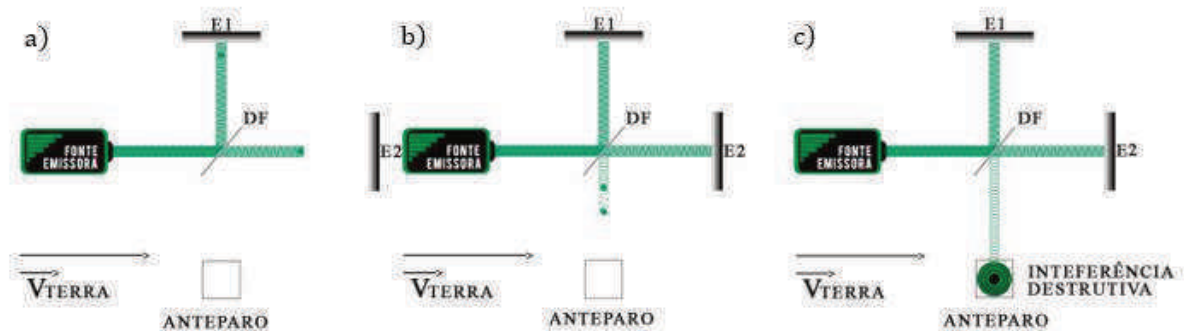


Figura 2- a) Diferença na velocidade da luz em cada um dos braços devido ao movimento da luz no éter. b) Mostra a defasagem de um feixe em relação ao outro. c) Padrão de interferência destrutiva que eles esperavam encontrar

É importante mencionar que a velocidade da Terra é muito pequena se comparada a velocidade da luz, por isso, eles esperavam um deslocamento das franjas de interferência. Para efeitos didáticos, assumimos no vídeo, um padrão de interferência destrutiva, como se a defasagem fosse de exatamente $\lambda/2$.

Cena 3: O que eles encontraram?

Nessa cena, vamos apresentar os resultados encontrados, que são contrários aos que eles esperavam. Os feixes de cada braço chegavam ao mesmo tempo no anteparo, algo que não correspondia ao modelo da luz se propagando no éter, discutido na cena 2. Como o resultado não era o esperado, eles ainda giraram o interferômetro ao longo do ano em 360° para tentar alinhá-lo a velocidade da Terra em direção ao éter. As Figuras 4 A-H mostram quadros do vídeo com o interferômetro girando.

a)

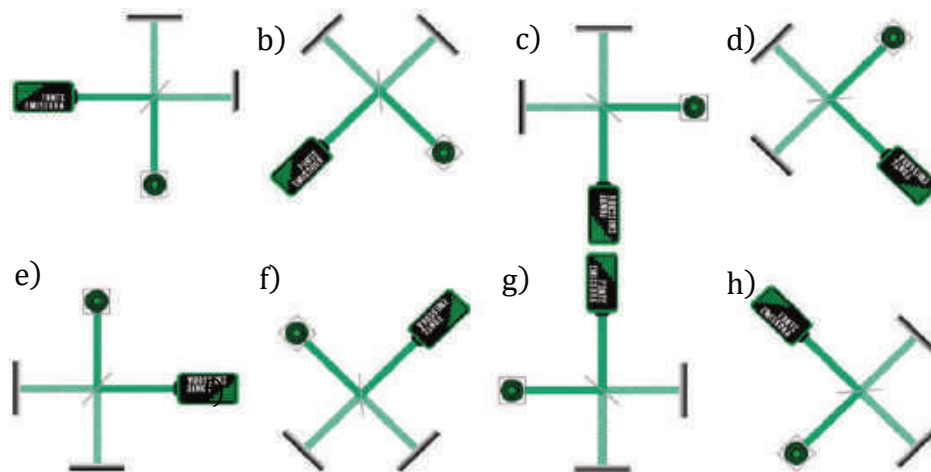


Figura 3. Interferômetro de Michelson girado em 360° para verificar o arrasto do éter..

Os estudos de Michelson mostraram que independentemente da posição do interferômetro em relação a direção do movimento da Terra em relação ao éter, os resultados experimentais mostravam que o deslocamento das franjas não era o esperado pela teoria. Portanto, não foi possível verificar a existência do arrasto éter como previa a teoria.

Cena 4: Como explicar o que estava acontecendo?

Nessa cena, o objetivo é discutir como os resultados experimentais foram explicados na época. Num primeiro momento, apresentamos algumas explicações dadas por Michelson, mas daremos destaque a explicação dada por Hendrik Lorentz (LORENTZ, 1904). Ele sugeriu que o fenômeno ocorria devido a uma propriedade misteriosa do recém descoberto elétron, que seria responsável pela contração do tamanho de um dos braços do interferômetro que se movia através do éter. A explicação dada por ele não era a correta, mas de suas ideias surgiram as transformações de Lorentz, cujo fator $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ é fundamental na teoria da relatividade. Apesar disso, podemos deduzir o fator de Lorentz e a própria velocidade da luz a partir o experimento óptico de Michelson (LIMA e SASSE, 2017). A Figura 4 mostra alguns quadros do video.

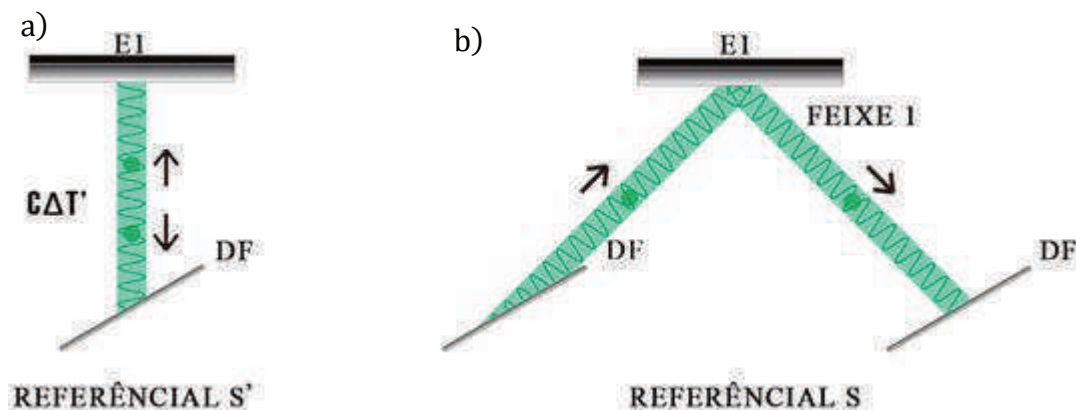


Figura 4-Feixe visto do referencial do S e S'.

Sem dificuldade é possível verificar que com o vídeo podemos de fato deduzir as transformações de Lorentz para os referenciais S e S' . A partir daí podemos discutir a dilatação do espaço e do tempo, sem apresentar aos alunos os postulados da Teoria da Relatividade.

A proposta de Sequência de Ensino por Investigação

Numa Sequência de Ensino por Investigação importância da determinação do problema é uma parte fundamental (CARVALHO, 2011). A problematização em nossa proposta ocorrerá após a primeira cena. A ideia é propor que um dos braços do interferômetro se movimente no éter na mesma direção da velocidade da Terra, enquanto o outro está na direção perpendicular. Isso significa fazer para os alunos exatamente a mesma pergunta da época do experimento, ou seja, o que ocorre com o feixe de luz em cada um dos braços do interferômetro. Naturalmente, isso não faz muito sentido se olharmos para o vídeo isoladamente. Por isso, temos que lembrar que o vídeo é apenas a segunda etapa da proposta. Essa pergunta só tem sentido se tivermos realizado a primeira etapa da atividade, onde discutiremos a propagação de ondas, revisitando trabalhos que precedem o interferômetro de Michelson. A primeira etapa não é tratada neste trabalho

Após a pergunta esperamos que os alunos levanten suas hipóteses e manipulem suas ideias. Na sequência apresentaremos a cena 2 e 3, mostrando o resultado que Michelson encontrou na época. A ideia é que os resultados experimentais sejam utilizados para que eles testem suas hipóteses, se for caso, que as aprimorem. A partir daí, vamos para a cena 4, com uma explicação científica do problema. A diferença aqui é que faremos isso a partir da proposta de Lorentz, destacando a contração de um dos braços do interferômetro ou a dilatação do tempo de viagem em um dos braços.

Conclusões

Neste trabalho, apresentamos cenas de um vídeo com potencial para introduzir a Teoria da Relatividade de Albert Einstein a partir do interferômetro de Michelson. A proposta do vídeo é que ele faça parte de sequência de ensino por investigação para ensinar teoria da relatividade no ensino médio. No entanto, com pequenos ajustes, também podemos fazer dele um vídeo independente, que conte a história do interferômetro de Michelson e das transformações de Lorentz. Entendemos que o trabalho é relevante no sentido que propõe uma atividade que parte de uma das realizações experimentais mais importantes da história da física, destacando suas principais conclusões, aqui representadas em 4 cenas, que geralmente não são apresentadas nas aulas de ensino médio ou superior.

Com relação ao ensino, as cenas mostram a importância desse experimento para o desenvolvimento da teoria da relatividade. Após a cena 1, onde introduzimos o interferômetro, esperamos nas cenas 2 e 3 permitam que compreender as novas questões que surgiram em função dos resultados experimentais. Com a cena 4 buscamos um desenvolvimento que permita mostrar a nova teoria que surge para explicar essas questões. Esperamos com isso, um material que permita ensino, em

consequência a aprendizagem, dos postulados da teoria da relatividade, visando um ensino pautado em questões que deram origem a nova teoria e na atuação ativa do aluno no processo. Por fim, acreditamos que a proposta aqui realizada pode contribuir para que esse tema seja levado numa nova perspectiva, a da física experimental, para as aulas de física, principalmente no ensino médio.

Referências

CARVALHO, AMP de. **Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI)**. O uno e o diverso na educação. Uberlândia: EDUFU, p. 253-266, 2011.

HOLTON, G. J. **Einstein, Michelson and the ‘crucial’ experiment**. In: HOLTON, G. J. Thematic origins of scientific thought: Kepler to Einstein. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

LORENTZ, H.A., **Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than that of Light**, Proc. Roy. Acad. Sc. Amsterdam, 6, 809 (1904).

MICHELSON, Albert A. **The relative motion of the Earth and of the luminiferous ether**. American Journal of Science, n. 128, p. 120-129, 1881.

MICHELSON, Albert A. Morley, Edward W. **Influence of motion of the medium on the velocity of light**. American journal of science, n. 185, p. 377-385, 1886.

MICHELSON, Albert A.; Morley, E. W. **On the relative motion of the earth and the luminiferous ether**. American Journal of Science, v. 34, n. 203, p. 333-341, 1887.

RIBEIRO, Daniela Albino; BALTHAZAR, Wagner Franklin. **Os trabalhos de Albert a. Michelson e o éter: o que “dizem” os livros didáticos**. Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 2018.

RIBEIRO, Daniela Albino. **Os experimentos de Albert Michelson e a busca pelo éter: subsídios históricos para o ensino de física e análise dos livros**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2018.

SOLINO, Ana Paula; FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. **Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, p. 1-6, 2015.

VAN DONGEN, Jeroen. **On the role of the Michelson–Morley experiment: Einstein in Chicago**. Archive for history of exact sciences, v. 63, n. 6, p. 655, 2009.