

Medidas do movimento relativo da Terra no século XIX:

Um estudo do interferômetro de Fizeau



Thiago Calixto da Silva¹, Ana Paula Bispo da Silva^{1#} 

¹Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil.

Palavras-chave

interferômetro
Fizeau
éter
história da ciência

Resumo

Neste trabalho, apresentamos um estudo de caso histórico de um instrumento científico construído no século XIX por A.H. Fizeau (1819-1896) para investigar o movimento da Terra através do éter. Para a análise do caso, levamos em conta as perspectivas propostas pela moderna historiografia da ciência que prioriza uma investigação diacrônica, sem distorções históricas, baseando-nos principalmente em fontes primárias e secundárias. O interferômetro de Fizeau é um exemplo, dentre vários outros construídos antes do interferômetro de Michelson e Morley, que não é devidamente evidenciado pelos livros didáticos. O estudo histórico do instrumento e seu emprego por Fizeau permite evidenciar alguns elementos da natureza do conhecimento científico, como a presença de influências sociais e culturais, além do trabalho experimental guiado por teorias.

1. Introdução

Dentre os assuntos relacionados à Física Moderna e Contemporânea, os experimentos de interferometria ganham destaque especialmente pelo experimento de Michelson-Morley e sua possível contribuição na construção da teoria da relatividade. No entanto, há pouca discussão sobre o experimento em si do ponto de vista procedimental [1] e em alguns casos adota-se o experimento como sendo crucial para a teoria da relatividade [2].

Há vários problemas com esse tipo de abordagem histórica. Um deles está na visão empirista de

que um experimento pode provar algo [2-4]. Outro problema, de cunho conceitual, está no fato de ser utilizado como argumento de autoridade para enaltecer uma determinada teoria, que não era a vigente na época em que o experi-

mento foi realizado [5, 6]. E uma terceira questão, de fundo positivista, que é de construir heróis

da ciência, invisibilizando todo um coletivo de estudiosos [4]. Partimos do pressuposto de que estudos de casos históricos, quando abordados a partir da moderna historiografia da ciência, permitem rever tais problemas e discutir elementos de natureza do conhecimento

**Experimentos e instrumentos
também são fontes para
entender a história da
ciência**

#Autor de correspondência. E-mail: silva.anapaulabispo@gmail.com

Este é um artigo de acesso livre sob
licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

científico no âmbito do ensino básico e da formação de professores.¹

Sendo assim, neste trabalho apresentamos uma abordagem histórica do interferômetro e seu papel para a teoria da relatividade em uma perspectiva diferente. Nossa principal fonte é o instrumento, as hipóteses utilizadas por seu idealizador na construção e os resultados encontrados, ou seja, trata-se da história de um instrumento científico [7]. Ainda que se trate de um estudo apenas teórico, mesmo porque há várias lacunas que impossibilitam sua reprodução e não é possível encontrar um exemplar para manipulação,² assumimos que a história de instrumentos científicos pode ser fonte de informações reveladoras das características da época, dos procedimentos e métodos adotados e do personagem em si [7].

Em meados de 1840, havia pelo menos duas possibilidades para o éter, meio através do qual a luz viajava: a hipótese de Stokes e a hipótese de Fresnel. A adoção do éter de Stokes ou de Fresnel refletia diretamente na explicação da aberração estelar, na medida da velocidade da luz e, uma vez que as estrelas pareciam ser o melhor referencial para determinar o movimento da Terra, também na medida da velocidade da Terra em relação ao éter [3,7,10]. Experimentos de interferometria pareciam ser a melhor maneira de tentar identificar como era o éter - Stokes ou Fresnel -, pois eram baseados na interferência da luz: se houvesse modificação no caminho percorrido, ou no tempo para percorrer, de dois raios luminosos emitidos simultaneamente, haveria variações na figura de interferência, dando pistas sobre como o meio afetava o movimento [3]. É nesse contexto que se encontra Hippolyte Fizeau (1819-1896), físico francês que se dedicou a uma análise profunda da interação entre a luz e o éter, mais precisamente se o éter poderia ser carregado por um meio transparente, ocasionando alguma mudança na velocidade da luz que o atravessava. Durante o desenvolvimento de sua pesquisa, em 1851, obteve um resultado que contribuiu muito para a defesa da hipótese de Augustin Jean Fresnel (1788-1827) sobre o arrastamento parcial do éter no interior dos corpos transparentes, uma das linhas de pesquisa subjacentes à teoria ondulatória [11].

Este artigo pretende discutir um dos experimentos criados por Fizeau para o esclarecimento quanto à influência do éter em corpos em movimento. Para discussão do trabalho, utilizamos fontes primárias [12,13] e fontes secundárias [3,10,11]. O estudo teórico sobre o experimento de Fizeau contribui para entender os diferentes pressupostos que conduzem o trabalho dos cientistas, e a influência do contexto, bem como a realização de um experimento, é um processo complexo e detalhado que considera elementos como habilidades técnicas, materiais existentes e, principalmente, a criatividade.

Além disso, traz para o ensino de ciências a discussão de outras teorias e personagens, evidenciando como o conhecimento científico é rico e complexo.

2. Breve biografia de Fizeau

Armand Hyppolyte Louis Fizeau (Fig. 1) nasceu em Paris, no dia 23 de setembro de 1819. Diplomado em letras e ciências, dedicou-se ao estudo da óptica e trabalhou de maneira independente [11,14]. Fizeau e seu colega Léon Foucault (1819-1868), desenvolveram alguns trabalhos em parceria, como a melhoria dos processos fotográficos, em 1839, e também sobre o fenômeno da polarização, em 1844. Em 1850, Fizeau e Foucault rompem a parceria e começam a produzir separadamente.

Entre os anos de 1847 e 1853, Fizeau se dedica ao estudo do arrastamento do éter e da medida da velocidade da luz [15]. Frercks [11] aponta um fato importante na biografia de Fizeau, relevante para entendermos o papel da prática experimental: dos nove experimentos de que tratam desses temas, dos quais há manuscritos, apenas dois foram publicados.³ A tese de Frercks é que Fizeau publicava apenas o que tinha certeza de que estava certo ou em que tinha chegado a algum resultado satisfatório, como é o caso do trabalho

Fizeau publicou apenas os trabalhos que tinha certeza dos resultados ou em que tinha chegado a algum resultado satisfatório



Figura 1 - Armand Hyppolyte Louis Fizeau (1819-1896). Fonte: Ref. [14].

de 1851 que trazemos aqui, mas fica a reflexão: qual a contribuição dos experimentos que “não dão certo” na construção das hipóteses? Não seriam importantes também? Tais questionamentos são importantes na reflexão sobre a natureza do conhecimento científico [16]. Fizeau foi vítima de um câncer na mandíbula e morreu em 18 de setembro de 1896, em Jouarre, França [10].

Como exemplo dos materiais produzidos por Fizeau envolvendo a velocidade da luz, temos: o esboço de um experimento sobre o arrastamento do éter na água em 1847 [11]; o experimento com a roda dentada em 1849, em que ele determinou a velocidade da luz partindo de uma relação com o ângulo do movimento realizado [15]; o experimento de 1851 sobre o arrastamento do éter no interior de corpos transparentes - ar e água -, que consistiu em criar um aparelho com características interferométricas que permitisse observar o fenômeno do deslocamento das franjas de interferência provenientes do encontro de dois raios de luz [12,13]. Nele, Fizeau usou raciocínios similares ao esboço comentado de 1847, mas também de outros experimentos. No entanto, o experimento de 1851 foi bem mais complexo e elaborado, o que nos leva a supor que esse trabalho demandou muito esforço e tempo para ser concluído.

3. Algumas explicações e hipóteses sobre o éter

Antes de nos determos nos estudos de Fizeau e nos detalhes de seu experimento, temos que entender que naquele momento havia uma afluência de hipóteses sobre a natureza da luz [3], e dentro de um campo dessas hipóteses - a ondulatória -, muitas discussões sobre o éter, meio em que a luz se propagava. Ainda não havia um consenso entre as várias hipóteses sobre o éter e justamente por isso os experimentadores levavam em conta aquelas que explicavam vários fenômenos e, principalmente, as questões-chave da época.

Dentro dessas questões, temos por exemplo o caso da aberração estelar, cujas causas eram atribuídas às variações na velocidade do movimento da Terra [17]. Outra questão pertinente a essa discussão foi o experimento de François Arago (1786-1853) em 1809, o qual visou observar o efeito do movimento da Terra sobre a luz. De maneira prática, ele consistia na deflexão da luz de uma estrela ao passar por um prisma e que isso poderia depender do movimento da Terra em relação às estrelas, mais precisamente devido às diferentes velocidades entre o exterior do prisma (variável) e o seu interior (constante). Porém, ao final de sua experiência, Arago não obteve o resultado esperado [3].

Assume-se que Arago levou em conta a interpretação corpuscular da luz, tendo como base a mecânica newtoniana. Alguns anos mais tarde, em 1817, Arago perguntou a Augustin Jean Fresnel (1788-1827)⁴ se seria possível explicar o resultado nulo de seu expe-

rimento de 1809 pela interpretação ondulatória da luz e a resposta foi positiva [3,7]. Em suma, Fresnel defendia que o éter, meio através do qual a luz viajaria, estaria presente em todo lugar do universo. Quando um corpo opaco, como a Terra, estivesse em movimento, o éter estaria em repouso e a luz viajaria através dele. No entanto, quando um corpo transparente estivesse em movimento, o éter teria uma interação diferente com a luz, de modo que seria parcialmente carregado, ou seja, uma parcela do éter incorporaria a velocidade da luz [3,7]. Fresnel nomeou essa parcela como sendo o coeficiente de arrastamento do éter, um fator que vai depender da densidade do meio e, principalmente, do índice de refração dos meios.

Outra hipótese sobre o éter foi proposta em 1845, por George Gabriel Stokes (1819-1903), que supunha o éter como um material viscoso que interagiria com os corpos. Diferentemente da hipótese de Fresnel, em que o éter não interagiria com a Terra, a hipótese de Stokes dizia que à medida que a Terra se movia, o éter era arras-

tado por ela [3,7]. Essa ideia foi capaz de explicar o experimento de Arago e a questão da aberração da luz, apesar de utilizar uma forma muito menos complexa que a de Fresnel, além de outros fenômenos ópticos e até mesmo outras experiências feitas nesse sentido [3,7]. No entanto, vale salientar que Stokes não desconsiderou a hipótese de Fresnel, apenas adotou uma nova perspectiva e concluiu que Fresnel de fato explicou boa parte dos fenômenos satisfatoriamente, mas que também havia chegado aos mesmos resultados de modo menos complexo. Ele destaca que seria deveras interessante se pudesse haver, de algum modo, um experimento que apontasse uma direção entre as duas hipóteses [19].

É no meio dessas influências e hipóteses que Fizeau inicia sua pesquisa sobre a relação entre o éter e a velocidade da luz, tudo isso a partir da tentativa de detectar o movimento da Terra. Apesar de esse ser o objetivo principal, à medida que sua pesquisa foi se aprofundando, novos interesses e dúvidas foram surgindo, além de outras questões que eram colocadas pela própria comunidade científica - bem inteirada no campo da óptica [11]. Nesse sentido, o éter transformou-se em protagonista na pesquisa de Fizeau, sendo um objeto de estudo ainda muito obscuro, do qual não se sabia muito.

4. O experimento de 1851 de Fizeau

Em 1851,⁵ Fizeau vinha de uma série de experimentações envolvendo o arrastamento do éter. Nesse ano, ele propôs um experimento que chamou a atenção da comunidade científica da época pelo seu potencial “decisivo” entre as hipóteses circundantes. Frercks [11] pontua que esse experimento começou a ser esboçado em fevereiro e teve sua conclusão em setembro do

O éter transformou-se em protagonista na pesquisa de Fizeau

mesmo ano. Em síntese, o experimento consistia em uma tentativa de observar os efeitos do arrastamento do éter na água corrente pelo método interferométrico [12]. O objetivo era criar um experimento que permitisse fornecer conclusões sobre as hipóteses disponíveis de Fresnel ou Stokes. Antes de realizar o experimento, Fizeau definiu três hipóteses que resumiam as discussões acerca do comportamento do éter na época:

Essas hipóteses podem ser reduzidas a três principais e dizem respeito ao estado em que devemos considerar o éter que existe no interior de um corpo transparente. Ou o éter é aderente e como que fixo às moléculas do corpo e, conseqüentemente, compartilha os movimentos que podem ser transmitidos a esse corpo. Ou o éter é livre e independente e não é levado pelo corpo em seus movimentos. Ou, finalmente, por uma terceira suposição que participa de ambas, apenas uma parte do éter estaria livre, a outra parte estaria fixada às moléculas do corpo e só participaria de seus movimentos. [12, p. 385, tradução nossa]

Para cada uma dessas hipóteses, Fizeau supôs que haveria implicações para a velocidade da luz se o corpo estivesse em movimento. Na primeira hipótese, a velocidade da luz seria aumentada totalmente pela velocidade do corpo que carrega o éter junto, se os movimentos fossem na mesma direção. Na segunda hipótese, a velocidade da luz não seria alterada, qualquer que fosse a direção do movimento em relação à luz. E na terceira hipótese - a hipótese de Fresnel -, a velocidade da luz seria aumentada somente em parte pela velocidade do corpo. Para que tais hipóteses fossem testadas, deveria ser um experimento em que fosse possível determinar a velocidade da luz no corpo. Por se tratar de uma velocidade muito alta em relação à pequena diferença que ocorre devido ao arrastamento ou não do éter, o método interferométrico seria a melhor opção, por considerar o efeito da mudança da velocidade (o deslocamento das franjas) [12].

A ideia de fazer um experimento utilizando o método interferométrico - já que não seria possível observar essas alterações nas velocidades da luz a olho nu - não foi concebida por Fizeau. Outros estudiosos envolvidos na determinação da velocidade da luz já haviam utilizado esse método em suas experiências, como o caso de Arago [7], que buscava analisar as variações na franja de interferência, e Jacques Babinet (1794-1872), ao investigar a velocidade da luz dentro de um bloco de vidro [3]. Vários outros estudiosos propuseram experimentos interferométricos que poderiam de alguma forma identificar o movimento da Terra, conforme tratam Martins [3] e Pereira e Gurgel [4]. O desafio para Fizeau seria construir um equipamento que possibilitasse a visualização desses deslocamentos; entretanto, nesse sentido, ele possuía certa experiência.

Fizeau não deixou imagens de seu experimento, apenas a descrição e rascunhos incompletos

Em 1851, Fizeau vinha de uma série de experimentos e esboços a fim de explicitar o comportamento do éter [11], então ele já havia desenvolvido certa prática, mas, mesmo assim, o experimento era bem complexo e demandou cerca de oito meses para a sua conclusão. Na revisão dos experimentos, Frercks [11] traz imagens dos rascunhos de Fizeau⁶ do aparelho usado em 1851. Comparando o rascunho a sua descrição de 1859 [12], temos uma ideia de como era construído e de como o experimento funcionava. Também é possível ter uma ideia do aparelho pela análise que Éleuthère Mascart (1837-1908) fez dos experimentos ópticos que buscavam encontrar efeitos do movimento da Terra através do éter. Em sua publicação de 1893, com o auxílio de imagens, Mascart descreve de forma muito clara e detalhada como o experimento de Fizeau foi montado e como ele funcionava [20].

Para facilitar a compreensão de como o experimento foi construído, iremos dividi-lo em duas partes. A primeira refere-se ao sistema central de tubos, o interferômetro de fato (Figs. 2 e 3).

Inicialmente, a luz solar chegaria pelo ponto S' e percorreria a luneta (L) até chegar aos vidros espessos (F). Esses vidros têm como função separar os raios de luz para que entrem em cada um dos tubos A_1 e A_2 . No entanto, antes de atravessá-los, há um objeto sólido com uma fenda situada no centro dos tubos (E), com a finalidade de que os raios se propaguem exatamente no seu centro, pois, segundo Fizeau - provavelmente devido ao estudo de fluidos -, é no centro dos tubos que há menos resistência ao movimento da água e, portanto, há menos interferências na medida das franjas [12]. Os tubos possuem conexões arredondadas (H) que conectam esse sistema com o sistema de correnteza que movimenta a água em sentidos contrários dentro dos tubos. Em seguida, os raios seguem em direção ao colimador (L') composto por uma lente convexa (i) na parte frontal, a fim de fazer os raios de luz convergirem e serem refletidos por um espelho (m) ao final do colimador [20]. Então, os raios fazem todo o caminho de volta e no ponto G têm sua direção desviada por um espelho semirrefletivo em direção ao ponto S' , local em que os raios saem do interferômetro para serem visualizados.

Fizeau não descreve de forma detalhada a parte do experimento construída para a visualização das franjas de interferência - ao qual chamaremos de conjunto K - e apenas nos informa que as franjas eram observa-

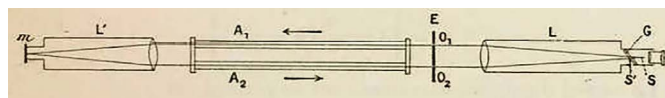


Figura 2 - O interferômetro de Fizeau - sistema de tubos. Fonte: Ref. [20].

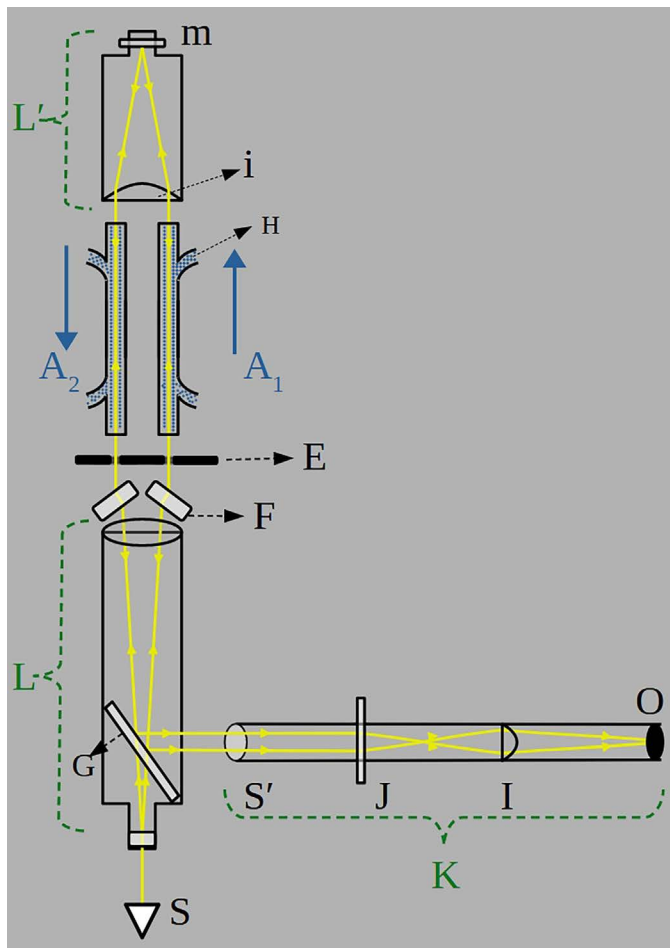


Figura 3 - Funcionamento do interferômetro. Fonte: Adaptado da Ref. [11].

das através de uma “ocular portando as divisões” das franjas [12]. No entanto, ao analisar sua fala com o esboço feito e comparar sua descrição com o funcionamento dos microscópios, percebe-se certa semelhança, pois, assim como neles, os raios passam pelo ponto S' e chegam em um anteparo (J), os quais são captados por uma lente objetiva (I) e observados por uma lente ocular (O). É nesse último ponto que as variações das franjas de interferência são observadas e medidas por um micrômetro, como descreve Fizeau.

A segunda parte do interferômetro, o sistema de correnteza de água dentro dos tubos, é um pouco mais complexo. Além de a água ter que se deslocar dentro dos tubos, ela precisa estar em movimentos contrários, como exemplificado na Fig. 2 pelas setas contrárias ao lado dos tubos. Essa característica é um aspecto teórico fundamental a fim de explicitar se a velocidade da luz seria acrescida ou permaneceria a mesma com o movimento num corpo transparente [7].

Mascart também descreveu esse sistema de forma bem detalhada e análoga à descrição de Fizeau em sua publicação [19]. A Fig. 4 representa o esquema responsável pelo movimento da água dentro dos tubos, permitindo que ela alcançasse a velocidade de 7 m/s [12].

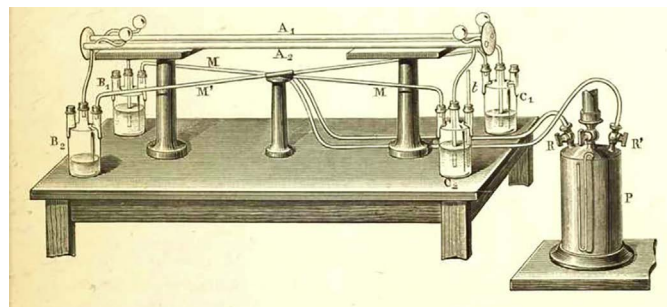


Figura 4 - O sistema que gerava a correnteza de água no interferômetro de Fizeau. Corresponde à parte central do aparelho da Fig. 2. Fonte: Ref. [20].

O sistema era composto por uma bomba de ar (P) com volume de 15 L; quatro garrafas (B₁, B₂, C₁ e C₂) com volume de 2 L; dois tubos (M e M') que conectam o reservatório de ar às garrafas e duas torneiras (R e R') que controlavam o sentido da correnteza [12,20]. De modo geral, o reservatório P bombeava o ar pelos tubos M e M', que se conectavam às garrafas com água. Nas garrafas havia um minissistema hidráulico que pode ser representado conforme se vê na Fig. 5.

No caso da Fig. 5, o registro R' da bomba de ar (P) está aberto e o ar (pontos azuis) seria bombeado pelo tubo M₁ até que entraria nas duas garrafas conectadas a ele por uma entrada secundária (E), pressionando a água que estava armazenada nelas. Essa pressão faria com que a água escoasse pelo tubo central (D), subindo até entrar nos tubos A₁ e A₂ (ao fundo, na Fig. 5) - nos quais passa a luz -, por meio de uma abertura (H) [20]. Mascart ainda descreve uma outra saída (t), onde, em uma das garrafas, havia um aparelho para medir a pressão dentro do sistema. No entanto, em sua publicação, Fizeau não detalha com clareza como era o sistema das garrafas, dando algumas informações que se aproximam muito do modelo de Mascart, porém sem

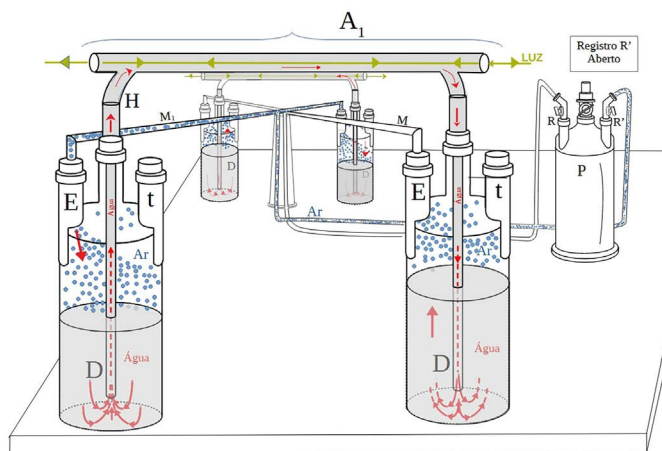


Figura 5 - Funcionamento do sistema hidráulico das garrafas que gerava a correnteza de água nos tubos A₁ e A₂. (A₁ e A₂ são paralelos. Na imagem projetada, A₂ está ao fundo.) Fonte: Adaptado de Mascart [20].

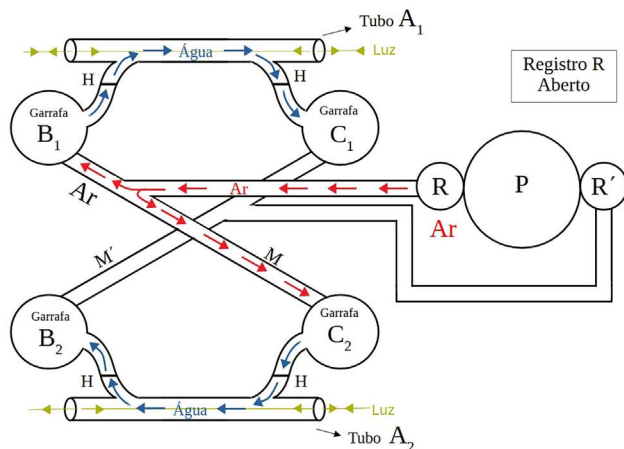


Figura 6 - O sistema de correnteza de água no sentido horário. Visão superior da Fig. 4. Fonte: Adaptado de Mascart [20].

mencionar o uso do instrumento para monitorar a pressão [11]. O sistema de correnteza nos tubos poderia funcionar no sentido horário e anti-horário, sendo determinado pela posição dos registros R e R'. Na Fig. 6, temos a representação do funcionamento desse sistema no sentido horário.

Nessa configuração, com o registro R aberto, o ar era bombeado pelo tubo M até chegar às garrafas com água B₁ e C₂. Assim, a água saía da garrafa B₁ para C₁ e da garrafa C₂ para B₂, pelos tubos A₁ e A₂, respectivamente [20]. Outra configuração era quando a correnteza acontecia no sentido anti-horário (Fig. 7), como propõe o esboço original feito por Fizeau, apresentado em [11].

Nesse sentido, o registro R' é aberto e bombeia o ar pelo tubo M' até as garrafas C₁ e B₂, inverso ao funcionamento do outro. A água era bombeada de C₁ → B₁ e

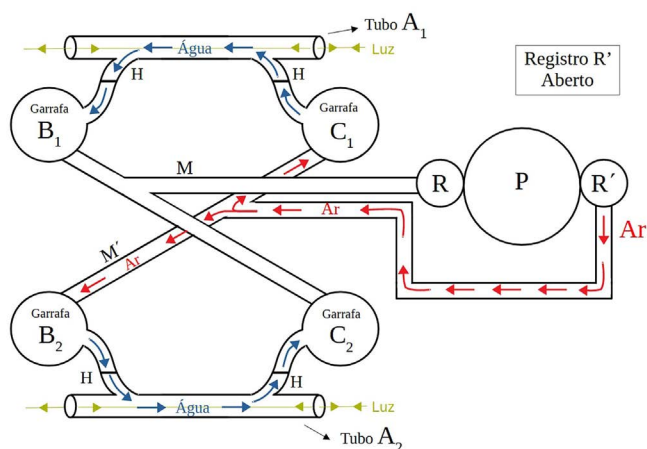


Figura 7 - O sistema de correnteza de água no sentido anti-horário. Visão superior da Fig. 4. Fonte: Adaptado de Mascart [20].

de C₂ → B₂, gerando a correnteza no sentido anti-horário (modelo também ilustrado na Fig. 5).

Após todos esses processos, a luz que entrou pelo ponto S (Fig. 3) forma, no ponto O (Fig. 3) uma figura de interferência que consiste em faixas escuras e claras. As faixas são devidas às diferenças no percurso da luz através da água, confirmando que um fluido poderia influenciar na velocidade da luz. Para medir o deslocamento das franjas, Fizeau coloca um micrômetro em O [20]. Na obtenção dos resultados, Fizeau parte das hipóteses iniciais, em que a velocidade do meio poderia ser adicionada, ou não, à velocidade da luz,⁸ já que a luz transportada pela água estaria em um referencial em movimento.

Assim, sendo v a velocidade da luz no vácuo; v' a velocidade da luz na água parada e u a velocidade da água supostamente paralela à direção dos raios, Fizeau vai comparar os resultados previstos teoricamente com aqueles obtidos experimentalmente. Na hipótese de arrastamento total do éter, a velocidade da luz na água, quando o líquido está em movimento, é dada por $v' + u$ ou $v' - u$, se o movimento da água for na mesma direção ou contrário à direção dos raios. Para as dimensões do aparelho, o índice de refração e a velocidade da corrente de água, a diferença de percurso para a luz teoricamente seria $\Delta = 0,0002418$ mm. Para o comprimento de onda de $\lambda = 0,000526$ mm assumido por Fizeau, a diferença de percurso equivaleria, aproximadamente, ao deslocamento de 0,46 franjas (hipótese 1), o que corresponde a um valor muito maior do que o encontrado experimentalmente [12].

Considerando a hipótese 3, de arrastamento parcial do éter (Fresnel), a velocidade da luz na água em movimento seria dada por

$$v' \pm u \left(\frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right).$$

Para as mesmas dimensões utilizadas anteriormente, haveria o deslocamento de 0,23 franjas [12]. Esse valor aproxima-se muito daquele obtido experimentalmente, o que poderia servir como uma confirmação da hipótese do éter de Fresnel.

Contudo, Fizeau demonstrou ser cauteloso e não considerou que o valor obtido experimentalmente pudesse ser a prova definitiva da hipótese do éter de Fresnel. Ele admitiu que uma das fontes de erros é o valor da velocidade da água ao longo dos tubos, pois o fluxo possui velocidade diferente no centro e na proximidade das paredes. Além disso, o experimento usando apenas o ar, que também tem fontes de erros como a variação da densidade e da temperatura, não mostrou nenhum deslocamento das franjas. Ele concluiu:

O sucesso dessa experiência parece-me levar à adoção da hipótese de Fresnel, ou pelo menos da lei que ele encontrou, para expressar a mudança na velocidade da luz pelo efeito do movimento dos corpos porque

bem, sendo essa lei considerada verdadeira, essa é uma prova muito forte a favor da hipótese da qual é apenas uma consequência, talvez a concepção de Fresnel pareça tão extraordinária e em alguns aspectos tão difícil de admitir que exigiremos novas provas e um exame aprofundado por parte dos geômetras, antes de adotá-la como expressão da realidade das coisas [12, p. 404, tradução nossa]

Após o experimento de Fizeau, ainda aparecerão outras tentativas de verificar qual hipótese sobre o éter deve ser adotada, e a interferometria continuou a ser a técnica mais comum utilizada, mesmo requerendo instrumentos muito precisos [3].

5. Algumas considerações

O experimento de Fizeau é complexo em diversos pontos, tanto devido à incerteza teórica que havia na época, como também pelas dificuldades experimentais. O próprio Fizeau destaca que a contagem de franjas deveria ser feita muito rapidamente, devido às configurações do aparelho [12].

A partir da análise do artefato construído em 1851, podemos ver o reflexo de uma longa pesquisa, destacando que o conhecimento científico envolve a prática, o desenvolvimento de habilidades e também o aprimoramento de instrumentos a partir de outros estudos. Fizeau não menciona, por exemplo, se teve ajuda na construção do aparelho, se encomendou a algum fabricante ou se ele mesmo construiu o sistema de tubos. Artesãos e construtores de instrumentos têm um papel muito importante para a ciência e são, quase sempre, invisíveis nas narrativas históricas [8,21].

Outras questões relacionadas a aspectos externos à pesquisa em si também refletiram em seu desenvolvimento, como, por exemplo, as estações do ano. Em determinado momento, Fizeau propõe que para o deslocamento das franjas de interferência ocorrerem em

um tempo maior, seria necessário que a velocidade e o sentido da água fossem constantes. No entanto, para isso ele teria que fazer uma série de modificações em seu aparelho que lhe custariam tempo e, provavelmente, quando ele terminasse, o experimento se tornaria quase inexecutável [12], pois ele estaria no período de outono (final do ano) ou de inverno (início do ano), em que a luz solar se torna escassa. Dessa forma, a necessidade de obter algum resultado antes de essas estações chegarem não lhe deu oportunidade de aperfeiçoar seu aparato e, conseqüentemente, isso levaria a uma possível imprecisão na medida das franjas de interferência.

Os trabalhos envolvendo interferometria são muito mais complexos do que aparentam ser quando citados nos livros didáticos. O caráter mutável das teorias científicas é evidente em toda pesquisa, além de não haver um método determinístico de suas ações, o que rompe diversos paradigmas relacionando a ciência como sendo imutável, com caráter exclusivamente empirista e com respostas absolutas.

Sendo assim, consideramos que este trabalho é de suma importância para que professores e professoras possam rever e complementar suas aulas de física moderna, acrescentando novas reflexões sobre o papel do éter e da contribuição de vários personagens na construção da teoria da relatividade.

Sendo assim, consideramos que este trabalho é de suma importância para que professores e professoras possam rever e complementar suas aulas de física moderna, acrescentando novas reflexões sobre o papel do éter e da contribuição de vários personagens na construção da teoria da relatividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem a disponibilidade do Prof. Dr. Éverton Jeferson Barbosa Ferreira (pesquisador independente) por auxiliar no aprimoramento dos desenhos e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Este trabalho foi financiado com recursos do CNPq, processo 404373/2021-6.

Recebido em: 9 de Outubro de 2024

Aceito em: 27 de Janeiro de 2025

Notas

¹Não é nossa intenção aprofundarmos quanto às questões epistemológicas e ontológicas da ciência. Para uma leitura aprofundada, sugerimos Pereira e Gurgel [8].

²A reprodução de experimentos e instrumentos científicos, ou a manipulação de um exemplar histórico, trariam outras contribuições sobre a natureza do conhecimento científico, pois abrangem conhecimentos tácitos e informações relativas à materialidade das coisas [9].

³Segundo Frercks [11], há também dois casos de publicação *pli cacheté*, procedimento em que o pesquisador depositava um envelope selado na Academia de Ciências, para garantir a primazia da ideia quando o envelope fosse aberto posteriormente.

⁴Para saber mais sobre Fresnel e os debates sobre a natureza da luz no século XIX, sugerimos a leitura de Oliveira e cols. [18].

⁵Segundo Frercks, no ano de 1851 é possível encontrar três experimentos de Fizeau: sobre a aberração terrestre no vácuo, sobre o arrasto do éter no ar em movimento (sem a participação de Foucault) e sobre o arrasto do éter na água em movimento. Apenas o último foi publicado, mas corresponde ao conjunto de conclusões procedimentais para a construção do aparelho [11].

⁶A reprodução dos rascunhos de Fizeau necessita de autorização da Academia de Ciências de Paris. Devido a esse fato, optamos por utilizar as imagens de Mascart e fazer nossos esboços a partir dos relatos de Fizeau, de Mascart e da análise de Frercks [11,12,20]. Nos trabalhos publicados sobre o experimento, Fizeau não traz rascunhos nem figuras representando as descrições que faz.

⁷Mascart [20] descreve como “na frente do dispositivo há uma tela E perfurada por dois slots paralelos. Entre os raios que emanam de uma fenda S paralela às anteriores, iluminada pela luz solar, alguns passam primeiro pela abertura O_1 ” (Fig. 2), o que nos leva a supor que a fonte é a luz solar. Não há especificação sobre a fonte em Fizeau.

⁸Nas hipóteses de Fresnel, temos que a luz corresponde à perturbação das moléculas de éter. Ou seja, uma analogia com uma onda numa corda, as moléculas do éter seriam “moléculas” da corda, que vibrariam transversalmente à passagem da onda.

Referências

- [1] A.G. Silva, N.C.G. Errobidart, D.C.B. Alves, W.P. Queirós, Lat. Am. J. Phys. Educ. **13**, 4305-1 (2019).
- [2] F.L. da Silveira; L.O.Q. Peduzzi, Cad. Cat. Ens. Fis. **23**, 26 (2006).
- [3] R.A. Martins, Cad. Bras. Ens. Fis. **29**, 52 (2012). [doi](#)
- [4] R. A. Martins, *A Origem Histórica da Relatividade Especial* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [5] H. A. Lorentz, *Textos Fundamentais da Física Moderna* (Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa, 2014).
- [6] R.A. Martins, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 11 (2005). [doi](#)
- [7] D. Pestre, Cadernos IG/Unicamp **6**, 3 (1996).
- [8] F.P.C. Pereira; I.G., Revista Brasileira de História da Ciência **15**, 469 (2022). [doi](#)
- [9] A. Kwan, *Historical Scientific Instruments in Contemporary Education Reading Instruments for Historical Scientific Practice. An Experimental Pedagogy for Material Culture* (Brill, Leiden, 2021). [doi](#)
- [10] R. A. Martins. *Einstein: Muito Além da Relatividade* (Instituto Sangari, São Paulo, 2010).
- [11] J. Frercks, Physics in Perspective **7**, 35 (2005). [doi](#)
- [12] H. Fizeau, Ann. Chi. Phys. **57**, 385 (1859).
- [13] H. Fizeau, Com. Ren. Heb. Séa. L'Aca. Sci. **33**, 353 (1851).
- [14] J.J. O'connor, E.F. Robertson, *Armand-Hippolyte-Louis Fizeau*. Disponível em <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fizeau/>, acesso em 19 fev. 2024.
- [15] H. Fizeau, Com. Ren. Heb. Séa. L'Aca. Sci. **29**, 90 (1849).
- [16] A.F.P Martins, Cad. Bras. Ens. Fis. **32**, 703 (2015). [doi](#)
- [17] R.S. Menezes, F.S. Lordêlo, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20180208 (2018). [doi](#)
- [18] R.A. Oliveira, A.F.P Martins, A.P.B. Silva, Cad. Bras. Ens. Fis. **37**, 197 (2020). [doi](#)
- [19] G.G. Stokes, Lon. Edin. Dub. Phi. Mag. J. Sci. **27**, 76 (1846).
- [20] É.É.N. Mascart, *Traité d'Optique* (Imprimerie Gauthiers-Villars et fils, Paris, 1893).
- [21] H.O. Sibum, Science **306**, 60 (2004). [doi](#)