

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton e as críticas de Hooke. *Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. Belo Horizonte: UFMG/CECIMIG/FAE, 1997, pp. 230-7.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-64.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

---

This file contains the full text of the following paper:

SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton e as críticas de Hooke. *Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. Belo Horizonte: UFMG/CECIMIG/FAE, 1997, pp. 230-7.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-64.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

## A TEORIA DAS CORES DE NEWTON E AS CRÍTICAS DE HOOKE

Cibelle Celestino Silva e Roberto de Andrade Martins  
Grupo de História e Teoria da Ciência, DRCC, Instituto de Física "Gleb Wataghin",  
UNICAMP, Campinas, SP, Brasil 13081-970.

### 1 Introdução

O estudo da teoria de luz e cores faz parte do curso de óptica e está presente nos livros-texto de física de segundo grau e universitários. Quando um feixe de luz branca incide num anteparo após passar por um prisma podemos observar nesse anteparo um espectro colorido alongado com as mesmas cores presentes no arco-iris. Os livros geralmente apresentam o experimento de dispersão da luz branca por um prisma como evidência de que a luz branca é uma mistura de raios coloridos.

A explicação apresentada por Newton em 1672 em um artigo publicado nas *Philosophical Transactions of the Royal Society* para esse fenômeno é a hipótese de que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios de todas as cores<sup>9</sup>. O prisma simplesmente separa a luz branca em seus raios componentes sem produzir nenhuma mudança no feixe de luz branca.

O objetivo principal desse trabalho é mostrar que a hipótese da composição da luz branca aceita por todos não é tão simples como os livros apresentam. A análise do experimento de Newton pode resultar em várias interpretações e hipóteses distintas, e a princípio, corretas. Como veremos, outros elementos experimentais e teóricos são necessários para se decidir entre as possíveis hipóteses. Os livros-texto não apresentam uma discussão detalhada da questão, afirmando a composição da luz como verdade inquestionável.

O estudo histórico da questão nos mostra que o desenvolvimento e aceitação dessa hipótese foi altamente problemático. Logo após a publicação do artigo de Newton em 1672, várias pessoas apresentaram críticas a sua hipótese, entre eles o padre Pardies, Hooke e Huygens. Essas críticas questionaram os resultados apresentados por Newton e a sua interpretação desses resultados. Somente através desse experimento não é possível concluir que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios com cores e refrangibilidade diferente.

### 2 A Teoria das Cores nos Livros Texto

A discussão sobre a constituição da luz branca geralmente é feita nos livros-texto na seção de óptica geométrica, junto com o estudo do prisma e suas propriedades. O prisma e seu efeito sobre a luz branca são

---

<sup>9</sup> NEWTON, Isaac. *Papers & Letters on Natural Philosophy*. Ed. I. Bernard Cohen e R. E. Shofield. Cambridge: Harvard University Press, 1978, pp.47-59.

apresentados a partir da análise da dispersão da luz branca pelo prisma. Quando um feixe de luz branca atravessa um prisma perpendicularmente a seu eixo a mancha formada num anteparo tem a forma alongada. Os livros não comentam nenhum cuidado especial quanto a posição do prisma e a maneira como a luz incide no anteparo<sup>10</sup> (perpendicularmente ou não) para a realização dos experimentos. Como veremos a seguir esses dois pontos foram essenciais na fundamentação da teoria das cores de Newton.

Para explicar o surgimento das cores após a passagem da luz pelo prisma, os livros partem de hipóteses que não são discutidas previamente. A primeira delas é a de que a cada cor corresponde um índice de refração diferente, através da relação  $n(\omega)$ . A imutabilidade das cores é outra hipótese usada mas, embora seja de fundamental importância na elaboração do argumento para a explicação da formação do espectro, ela é usada implicitamente.

O argumento apresentado pelos livros pode ser resumido da seguinte maneira: como a cada cor corresponde um índice de refração diferente o espectro é resultado do desvio devido à refração diferente que cada raio sofre.

Esse argumento só faz sentido se admitirmos que a hipótese da imutabilidade dos raios de luz está presente. Caso contrário poder-se-ia pensar que o prisma modificou a luz branca imprimindo-lhe essa nova característica - refrangibilidade diferente para os raios de cor diferente-que permanece inalterável por outras refrações.

Os livros-texto não levantam a possibilidade de surgirem outras interpretações para esse experimento, já que ele não elimina a possibilidade de o prisma produzir as cores quando o feixe de luz branca o atravessa. Os estudantes que estudam por esses livros são obrigados a acreditar na validade das hipóteses, embora não haja nenhum motivo para isso, pois as hipóteses não são óbvias e muito menos intuitivas. Vários outros experimentos são necessários para justificar tais hipóteses.

Não é apenas nos livros didáticos que existe uma apresentação equivocada da teoria das cores de Newton. Em alguns trabalhos de História da Ciência o mesmo tipo de exposição simplificada e ingênua é feita. Towne<sup>11</sup>, por exemplo, apresenta uma mesma visão equivocada sobre o desenvolvimento da teoria das cores de Newton. O artigo propõe o uso do artigo de 1672 de Newton juntamente com outros experimentos no ensino de óptica. Em seu artigo, Towne afirma que o trabalho de Newton é claro e fácil de ser entendido:

---

<sup>10</sup> É óbvio que quando o feixe cônico de luz não incide perpendicularmente no anteparo a mancha será elíptica.

<sup>11</sup>TOWNE, Dudley H. Teaching Newton's color theory firsthand. *American Journal of Physics* : 61, 113-16, 1993.

A simplicidade dos experimentos e ordem na qual Newton os apresenta leva à formação da teoria na cabeça dos estudantes antes que Newton estabeleça formalmente as hipóteses.

De acordo com Towne os estudantes chegarão à mesma teoria que Newton e concluirão que a luz branca é uma mistura de raios.

Towne afirma que o experimento com um prisma de Newton é suficiente para concluir que a luz do Sol é uma mistura heterogênea de raios,

(...) a forma oblonga do espectro pode ser medida com uma régua e é evidência suficiente para a declaração que a luz consiste de "raios diformes alguns dos quais são mais refrangíveis que outros".

Ao se referir a esse experimento Towne também não discute a importância da posição correta do prisma no experimento.

No entanto, essa conclusão não é simples e direta. Muitas críticas se seguiram após a publicação do artigo de 1672 no qual Newton expôs sua teoria sobre luz e cores. As críticas são tanto de caráter teórico quanto experimental. Newton também não apresentou com detalhes sua teoria e nem discutiu vários dos pontos problemáticos existentes na realização do experimento.<sup>12</sup>

### 3 Um "detalhe" experimental: a posição do PRISMA

Newton apresentou vários experimentos para justificar sua nova teoria. No primeiro<sup>13</sup> deles (fig. 1)<sup>14</sup> fez a luz solar entrar em seu quarto através de um pequeno furo na janela. Fez o feixe de luz branca passar por um prisma e incidir perpendicularmente<sup>15</sup> na parede do quarto formando uma mancha<sup>16</sup> alongada e colorida.

---

12 Para maiores detalhes sobre as dificuldades experimentais e conceituais enfrentadas por Newton e como ele as superou (ou não) veja SILVA, Cibelle Celestino. *A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks*. Dissertação de mestrado apresentada ao IFGW-Unicamp, 1996.

13 Nesse trabalho nos referiremos ao primeiro experimento descrito por Newton em seu artigo de 1672 como "primeiro experimento de Newton". No entanto deve-se lembrar que este não é o primeiro experimento óptico de Newton. Podemos encontrar a descrição de várias observações e experimentos realizados entre 1664 e 1665 em seu caderno de anotações. Veja Mc GUIRRE, J. E. e TAMNY, Martin. *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

14 Newton não apresentou uma figura na descrição desse experimento em seu artigo de 1672. A figura aqui apresentada como ilustração do experimento foi reproduzida do manuscrito *Lectiones opticae (circa 1672)*: MS. Add. 4002, fol. 3 da Cambridge University Library, reproduzido em: WHITESIDE, D.T. *The Unpublished First Version of Isaac Newton's Cambridge Lectures on Optics, 1670-1672*. Cambridge: Cambridge University Library, 1973.

15 Uma discussão detalhada sobre as condições para a realização do experimento está discutida em *A teoria das cores de Newton*.

16 Não é correto dizer que o prisma projeta uma *imagem* na parede, embora Newton utilize essa expressão. Um prisma produz normalmente uma imagem virtual dos objetos. Apenas se usarmos um prisma e uma lente convergente é possível produzir uma imagem real na parede. Apesar dessa ressalva, seguiremos usando a nomenclatura de Newton e utilizaremos o termo *imagem* ao invés de *mancha*.

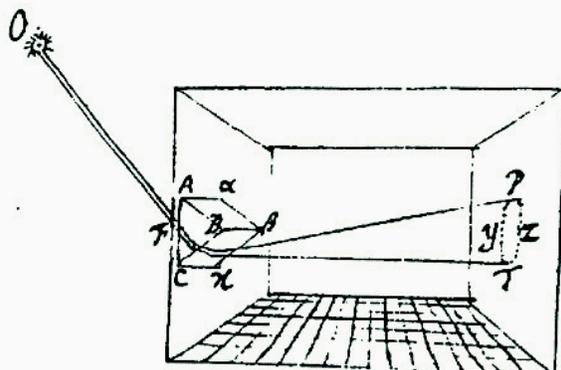


Fig. 1 - Esquema de Newton (não publicado em 1672) para o primeiro experimento descrito em seu artigo de 1672: um feixe de luz solar passa por um prisma e forma uma mancha colorida alongada na parede oposta de um quarto escuro.

Newton se surpreendeu com o resultado obtido. Segundo ele, "de acordo com as leis da refração aceitas" a imagem deveria ser circular. O fato novo do experimento está na forma oblonga da imagem.

Para entender o motivo da surpresa de Newton e a necessidade da nova hipótese deve-se analisar cuidadosamente um detalhe de extrema importância na realização do experimento: a posição do prisma.

De fato, de acordo com a lei cartesiana de refração, para o caso da luz incidente ser monocromática, há uma posição do prisma que produz uma imagem circular. É a chamada posição de mínimo desvio. Quando o prisma está ajustado nessa posição, pequenas rotações ao redor de seu eixo não produzem mudanças na direção dos raios emergentes e o ângulo de desvio (ângulo formado entre os raios incidentes e emergentes) é mínimo<sup>17</sup>. É possível provar que quando o prisma está nessa posição a imagem formada é circular<sup>18</sup>.

Newton realizou seus experimentos com o prisma ajustado na posição de desvio mínimo e por isso esperava observar uma imagem circular. Explicou a forma alongada do espectro como sendo resultado das diferentes refrações dos raios de cores diferentes.<sup>19</sup>

Ao apresentarem esse experimento, os livros-texto também não discutem a importância da posição correta do prisma. Isso impossibilita o entendimento da necessidade da introdução do novo conceito sobre a composição da luz branca. Dessa maneira resta aos alunos "acreditar" na

17 Essa demonstração está presente em vários livros-texto, por exemplo em ALONSO, M. e FINN, E. J. *Física: um curso universitário*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1972.

18 A demonstração de Newton pode ser encontrada em NEWTON, Isaac. *The Optical Papers Of Isaac Newton*. Ed. Alan E. Shapiro. Cambridge: Cambridge University Press, 1984, Vol 1 *The optical lectures (1670-1672)*, p. 273.

19 Para estabelecer a relação entre cor e refrangibilidade, Newton realizou vários experimentos que estão discutidos em *A teoria das cores de Newton*.

autoridade dos livros e professores no que se refere a constituição da luz. As críticas que se seguiram à publicação do artigo de 1672 nos mostra que a aceitação da nova teoria de Newton não foi imediata pois há muitos pontos que não são óbvios.

#### 4 As críticas de Hooke

A relação entre cor e refrangibilidade estabelecida por Newton não provocou grandes controvérsias. Mas a hipótese da luz branca como uma "mistura heterogênea de raios" gerou uma grande controvérsia entre Newton e Hooke, Huygens e Pardies<sup>20</sup>.

Vamos nos ater à discussão entre Newton e Hooke. Para Hooke a luz branca é um tipo de vibração (não periódica) e a luz colorida corresponde a modificações que o prisma imprime na luz branca.

Para Hooke a luz branca é um tipo de vibração (não periódica) e a luz colorida corresponde a modificações que o prisma imprime na luz branca. Em um meio homogêneo (figura 2), a luz seria constituída por uma série de frentes de onda ("pulsos orbiculares") perpendiculares à direção ABC de propagação dos raios. Quando a luz incide obliquamente num meio refringente, segundo Hooke, a frente de onda se torna inclinada em relação à direção de propagação<sup>21</sup>.

Os dois lados de um feixe luminoso refratado, ao penetrarem em uma região escura, produziram diferentes efeitos à sua volta (figura 2). Hooke explica o surgimento das cores mecanicamente atribuindo aos raios refratados uma certa propriedade física imposta pelo meio refrator. O feixe de luz refratado tem dois lados ou duas partes: uma que se propaga na frente e que é enfraquecida e outra que se segue e que é fortalecida. O meio refrator não perturbado é o responsável por esse enfraquecimento dos raios. Os raios nos quais predomina a parte enfraquecida são dispostos a exibir o azul, sendo que o azul é mais intenso na região próxima da região escura do meio. Enquanto que os raios nos quais predomina a parte fortalecia exibem a cor vermelha, sendo o vermelho próximo da fronteira do feixe mais intenso. O amarelo e as tonalidades de azul são efeitos da variação de intensidade dos raios vermelho e azul, respectivamente. O resultado da intersecção desses raios azuis e vermelhos com intensidades diferentes são as cores intermediárias.

A teoria de Hooke dá conta daquilo que se observa em experimentos com prismas. Quando se observa o feixe refratado próximo ao prisma, vê-se um feixe branco, com bordas azul e vermelha. As outras cores do espectro são observadas longe do prisma e, segundo Hooke, são resultado da mistura entre o azul e o vermelho em diferentes proporções.

<sup>20</sup> Para uma boa discussão sobre essa ver SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1962.

<sup>21</sup> HOOKE, *Micrographia*, pp. 57-8.

Da mesma maneira que os coetâneos de Newton não aceitaram a nova teoria imediatamente, não há nenhum motivo para os estudantes de hoje a aceitarem sem questionamentos.

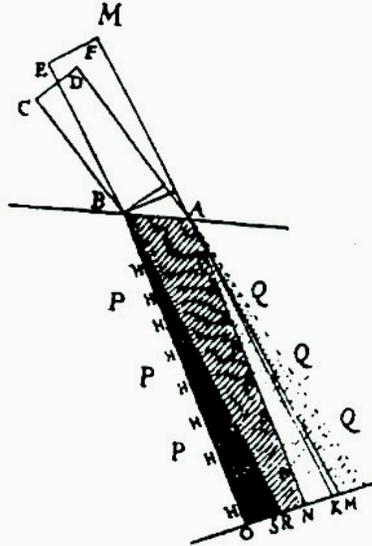


Fig. 2 Esquema da Micrographia de Hooke para ilustrar a produção de cores após a passagem de um feixe de luz branca por um prisma.

A escolha entre a teoria newtoniana e a teoria modificada não pode ser feita apenas através de experimentos, pois em todos os experimentos de Newton a luz é refratada ao menos uma vez. Pode-se pensar que o meio produz mudanças no feixe que permanecem inalterados nas refrações subsequentes.

De fato é impossível saber se as cores estão presentes na luz branca ou não antes dela ser refratada ao menos uma vez. É possível se sustentar que antes da primeira refração a luz branca é homogênea.

Newton percebeu que a escolha entre as duas hipóteses deveria ser feita com base em argumentos metodológicos. Em sua resposta para Hooke, disse:

Eu não vejo razão para suspeitar que os mesmos *Phenomena* possam ter outras causas ao ar livre,

isto é, ele não vê razão para introduzir a distinção entre os dois tipos de luz já que eles exibem as mesmas propriedades em todos os experimentos. Não se deve multiplicar as entidades sem necessidade: deve-se escolher a teoria mais simples. Esta é a regra metodológica conhecida como *Navalha de Occam*<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> Newton usou várias vezes esse tipo de argumento. Em seu *Philosophiae naturalis principia mathematica* este tipo de regra filosófica está presente (*Regulae philosophandi*). Na primeira edição de seu livro encontramos duas delas: "Regra 1: Não

## 5 Conclusão

O primeiro artigo de Newton apresenta um experimento onde um feixe de luz solar passa através de um prisma colocado na posição de mínimo desvio e atinge perpendicularmente uma parede. A imagem formada na parede era oblonga, mas de acordo com as leis da refração (lei de Snell-Descartes) a imagem deveria ser circular.

A explicação de Newton para esse estranho formato da imagem é que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios de cores diferentes e que diferem em refrangibilidade. Para justificar essa explicação Newton combinou argumentos teóricos e experimentais.

Newton estabeleceu a relação entre cor e refrangibilidade em seu *Experimentum Crucis*: a cada cor corresponde uma refrangibilidade e vice-versa. Além dessa relação Newton introduziu o conceito de cores simples e compostas. A relação entre cor e refrangibilidade só se aplica às cores simples.

Um outro ponto importante na argumentação de Newton é a imutabilidade da luz colorida. Como as cores são imutáveis e estão relacionadas com a refrangibilidade esta última também é imutável.

Para estabelecer a imutabilidade das cores Newton realizou vários experimentos com cores simples e compostas. Em nenhum deles observou mudanças ou criação de novas cores e também nenhuma mudança na relação entre cor e refrangibilidade.

Da imutabilidade da refração segue que ela deve ser a mesma antes da luz ser refratada pelo prisma. Isto significa que o prisma não modifica e nem introduz novas características nos raios. Portanto os raios coloridos já estão presentes no feixe de luz branca antes dele passar pelo prisma.

Para confirmar sua teoria Newton apresentou um experimento no qual os raios coloridos provenientes do prisma atravessam uma lente convergente; no foco dessa lente forma-se luz branca com as mesmas características da luz do Sol. Nesse ponto entra um argumento metodológico: como não se deve multiplicar entidades sem necessidade deve-se aceitar essas duas luzes brancas como sendo iguais.

---

admitimos mais causas das coisas naturais que as que são verdadeiras e suficientes para explicar suas aparências. Regra 2: Portanto para os mesmos efeitos naturais devemos, sempre que possível, assumir as mesmas causas". Podemos perceber claramente o uso desse tipo de argumento metodológico. Veja: KOYRÉ, A., COHEN, I.B. e WHITMAN, A. Isaac Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Third Edition (1726) With Variant Readings. 2 vols. Cambridge: Cambridge University Press, 1972, vol 2, pp. 550-6.

Os livros-texto usados nos cursos básicos de física não discutem a estrutura da argumentação de Newton. O estudo crítico do trabalho de Newton nos mostra que essa teoria não foi construída por uma pura "indução" dos experimentos. A teoria das cores apresenta muitos pontos problemáticos que se não forem bem discutidos podem causar nos estudantes uma visão distorcida da dinâmica científica.