

F 809 – INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO

Prof. José Joaquim Lunazzi

RELATÓRIO PARCIAL

Os anéis de Newton: uma abordagem histórica e experimental

Aluno: Breno Arsioli Moura

R.A.: 019140

Orientadora: Cibelle Celestino Silva

Resumo

Este trabalho consiste em estudar os experimentos utilizados por Isaac Newton para explicar o fenômeno conhecido como “anéis de Newton”, bem com sua explicação baseada nos “estados de fácil reflexão” e “estados de fácil transmissão”, discutidas no livro II do *Óptica*, seu segundo livro, publicado originalmente em 1704.

1. Introdução

As primeiras experiências de Newton com a óptica começaram, provavelmente, em 1663 ou 1664¹, quando comprou numa feira próximo a Cambridge “um prisma triangular de vidro, para com ele testar os célebres *fenômenos das cores*”².

Nessa mesma época, Robert Boyle (1624-1691) e Robert Hooke (1635-1703), publicaram seus livros, respectivamente, *Experiments and considerations touching colours* (de 1664) e *Micrographia* (de 1665) que, dentre outros assuntos, tratavam das cores exibidas em corpos transparentes delgados.

Boyle e Newton adotaram um modelo corpuscular para explicar a natureza da luz, enquanto Hooke interpretava a luz como sendo constituída por pulsos não periódicos se propagando em um meio material. Atualmente, o fenômeno é explicado adotando-se um modelo ondulatório para a luz e pela interferência entre ondas luminosas.

Influenciado pelos livros de Boyle e Hooke, Newton iniciou sua pesquisa sobre esse sistema de cores – os “anéis de Newton” –, sendo que as primeiras descrições de seus pensamentos estão em um ensaio escrito provavelmente em 1666, “Sobre as cores”, não publicado na época³. Em seguida, em 1675, Newton enviou a Royal Society de Londres dois artigos contendo, dentre outros assuntos, estudos sobre as cores em filmes finos: “Hypothesis of light” e um sem título, mas conhecido por “Discourse of observations”, ambos não publicados na época. Esses três trabalhos formam a essência do Livro II do *Óptica*, livro publicado em 1704.

Para explicar a formação dos anéis, Newton elaborou a teoria dos “estados de fácil reflexão” e “estados de fácil transmissão”, descritas no Livro II do *Óptica*. Essa teoria se baseou em uma concepção corpuscular da luz, que adquiriu lendo os trabalhos de Walter Charleton sobre Pierre Gassendi⁴.

¹ A data exata não é conhecida. Veja WESTFALL 1980, p. 157.

² SILVA & MARTINS 1996, p. 315.

³ HALL 1993, pp. 15-17 e p. 42.

⁴ HALL 1993, p.33.

A teoria dos “estados” não é mais aceita atualmente. Mas, através de observações cuidadosas e medidas precisas, Newton foi um dos primeiros a estabelecer e comprovar a periodicidade de um fenômeno óptico.

A primeira parte desta pesquisa consistiu em estudar a biografia de Isaac Newton, a fim de me familiarizar com a vida e obra do cientista, analisar a Parte 1 do Livro II do *Óptica*, que contém 24 observações sobre o aparecimento dos “anéis de Newton”, bem como as medidas de Newton da espessura da película de ar entre as lentes e obter as especificações dos instrumentos que Newton utilizou para construir o mesmo aparato.

2. Biografia

Isaac Newton nasceu em 1643 numa fazenda em Woolsthorpe, no condado de Lincolnshire. Seu pai faleceu pouco antes de seu nascimento e sua mãe, Hannah, três anos depois, casou-se novamente. Durante os oito anos em que Hannah viveu com seu novo marido, Newton morou com seus avós na mansão onde nasceu.

Após a morte do padrasto e da volta de sua mãe, Newton foi estudar em Grantham, a aproximadamente onze quilômetros de Woolsthorpe, na King’s School. Como pensionista de um boticário local, Clark, Newton teve seu primeiro contato com diversos produtos químicos com os quais se fabricavam os remédios e uma oportunidade de realizar seus próprios experimentos, uma vez que a escola não lhe trazia muitos atrativos.

Um fato interessante mudaria a vida do então solitário e recluso estudante: certa manhã, após uma briga com um colega de turma⁵, que ocupava um lugar à frente de Newton nas notas da classe, Newton decidiu superar o rival na escola, tornando-se, então, o melhor aluno da classe⁶.

Notando o potencial do garoto, o diretor da King’s School, Henry Stokes, auxiliado pelo tio de Newton, William Ayscough, e por um professor de Cambridge, Humphrey Babington, decide preparar Newton para ingressar na Universidade de Cambridge.

Após enfrentar uma dura resistência da mãe, que não via razão para que o filho estudasse, já que somente queria que ele cuidasse da fazenda, em 5 de Junho de 1661,

⁵ Muitos historiadores acreditam ser Arthur, enteado de Clark.

⁶ WESTFALL 1980, p. 60.

Newton se inscreveu no Trinity College, em Cambridge, ocupando o mais baixo degrau da escala social da Universidade: *sub-sizar*. Em 1665, recebe o título de *Bacharel em Artes*⁷.

Em Cambridge, Newton teve contato com obras de pensadores que muito o influenciaram, como Descartes, Robert Boyle, Thomas Morus, Thomas Hobbes, Copérnico, Tycho Brahe, Galileu, Henry More, Pierre Gassendi, Walter Charleton, entre outros⁸.

Por volta do ano de 1664, durante uma aula, Newton escreveu no topo de seu caderno os dizeres: “Amicus Plato, amicus Aristoteles magis amica veritas”⁹. Era o início de um caderno de anotações – “Quaestiones Quaedam Philosophicae” – que continha as primeiras discussões sobre a natureza das coisas e que, nos anos seguintes, serviriam de base para a elaboração de conceitos mais sofisticados, presente nas publicações de Newton.¹⁰

Durante os anos de 1665 e 1666, a Grande Praga¹¹ se alastrou pela Inglaterra, atingindo cidades que ainda se mantinham ilesas, como Cambridge. A Universidade fechou as portas e Newton foi obrigado a retornar a sua terra natal, Woolsthorpe. Esse período de sua vida é conhecido como *anni mirabiles*, em que Newton começou a desenvolver as pesquisas científicas que o tornariam célebre no futuro.

Em 1669, Newton substituiu Isaac Barrow – que fora seu professor em Cambridge – na cátedra lucasiana e seu primeiro trabalho como professor lucasiano são as “*Lectiones opticae*”¹² que, futuramente, serviriam de base para seu primeiro artigo, a “Nova Teoria de Luz e Cores”¹³, publicado em 1672 pela Royal Society de Londres.

A publicação de seu primeiro artigo foi fruto de muita insistência por parte da Royal Society, a qual Newton tornou-se membro após o sucesso com o telescópio refletor que ele havia desenvolvido. O artigo foi enviado em 6 de Fevereiro de 1672 a Henry Oldenburg, secretário da sociedade. Dois dias depois, o artigo foi lido para os outros membros da

⁷ Sub-sizar e sizar indicam os alunos de Cambridge que recebiam bolsas (sizarships) para cursar os primeiros anos. Após um exame ao final do segundo ano, o aluno poderia candidatar-se a um scholarship, ou bolsa de graduação, que lhe permitiria continuar estudando até conquistar o título de *Bacharel em Artes* (graduação simples) e tornar-se um *scholar* (intelectual, erudito) formado.

⁸ WESTFALL 1980, p. 89.

⁹ Traduzindo do latim: “Sou amigo de Platão, sou amigo de Aristóteles, mas a verdade é minha melhor amiga.”

¹⁰ As “*Quaestiones*” foram publicadas em MCGUIRRE & TAMNY 1983

¹¹ A Grande Praga era a peste bubônica, uma infecção bacteriana transmitida por uma pulga que infesta o rato preto.

¹² As “*Lectiones opticae*” foram traduzidas para o inglês pelo historiador da ciência Alan E. Shapiro.

¹³ SILVA & MARTINS 1996, p. 313-27.

sociedade. Nesse artigo, Newton explicou o funcionamento de seu telescópio e defendeu, entre outros pontos, a heterogeneidade da luz branca, gerando diversas críticas entre o meio científico, advindas de Robert Hooke e outros¹⁴.

Com as críticas acerca de sua teoria, Newton ficou recluso por três anos até que, em 1675, ele envia a Oldenburg dois trabalhos sobre as cores que não foram publicados na época: “Hypothesis of light” e um sem título, mas atualmente conhecido como “Discourse of observations”, em que discute, entre outros assuntos, o fenômeno dos “anéis de Newton”¹⁵.

Newton já era bastante conhecido pela comunidade científica quando, em 1687, publicou seu mais famoso livro, o *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, mais conhecido como *Principia*, cujo apoio de Edmund Halley foi essencial, que enfrentou grandes dificuldades para conseguir fundos para a publicação da obra de Newton¹⁶.

Em 1696, Newton deixou a Universidade de Cambridge para se dedicar à administração da Casa da Moeda, onde, com seus esforços guiou a instituição, aumentando significativamente sua eficiência. Quando seu maior rival, Robert Hooke, morreu em 1703, os caminhos se abriram para a eleição de Newton como presidente da Royal Society, cargo que sustentaria até sua morte.

Finalmente, em 1704, com Hooke morto e a presidência da Royal Society nas mãos, Newton se viu livre para publicar seu segundo livro, o *Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light* ou simplesmente *Opticks*, sem correr o risco de maiores disputas, como as que o haviam calado sobre o assunto, a óptica, por mais de trinta anos.

Com 84 anos, em 1727, Newton morreu, deixando um imenso legado, tanto científico quanto intelectual, à humanidade.

¹⁴ SILVA & MARTINS 1997.

¹⁵ NEWTON 1978.

¹⁶ WESTFALL 1980, pp. 402-68.

3. Óptica – Livro II – Parte 1

O Livro II descreve os experimentos de Newton acerca dos anéis de cores em filmes finos. Para ele, esse novo fenômeno não poderia ser explicado com a teoria da luz desenvolvida no Livro I¹⁷, em suas próprias palavras:

*No Livro I abster-me de tratar dessas cores porque pareciam mais difíceis de considerar e não eram necessárias para estabelecer as propriedades da luz ali discutida. Mas como elas podem levar a outras descobertas para completar a teoria da luz, especialmente quanto à constituição das partes dos corpos naturais, das quais dependem suas cores ou transparência, faço aqui um exame delas [...]*¹⁸

Nesta parte do trabalho, estudei a Parte 1 do Livro II, em que Newton expôs suas observações sobre os “anéis de Newton” e realizou medições para calcular a espessura do filme de ar entre duas lentes.

Ao todo são 24 observações sobre o fenômeno. Destaquei aquelas que serão mais úteis para o fim didático deste trabalho, que é o de abordar a História da Ciência da forma mais clara e objetiva possível em sala de aula. Neste caso, seria estudar as observações de Newton sobre o fenômeno dos anéis de cores em películas finas, bem como a montagem experimental por ele realizada para sua visualização e as eventuais dificuldades experimentais enfrentadas.

Primeiramente, Newton realizou observações com dois prismas pressionados um contra o outro, relatando a ordem das cores dos anéis que emergiam a partir de uma mancha transparente, no ponto de contato entre os prismas.

Observação 2

[..] Esses arcos apresentavam inicialmente uma cor violeta e azul, e entre eles havia arcos de círculos brancos que logo se tornavam, continuando o

¹⁷ Para um estudo do livro I veja SILVA 1996.

¹⁸ NEWTON 1996, p. 155.

*movimento dos prismas, um pouco tingidos de vermelho e amarelo em suas extremidades interiores, enquanto em suas extremidades exteriores eram contíguos ao azul [...].*¹⁹

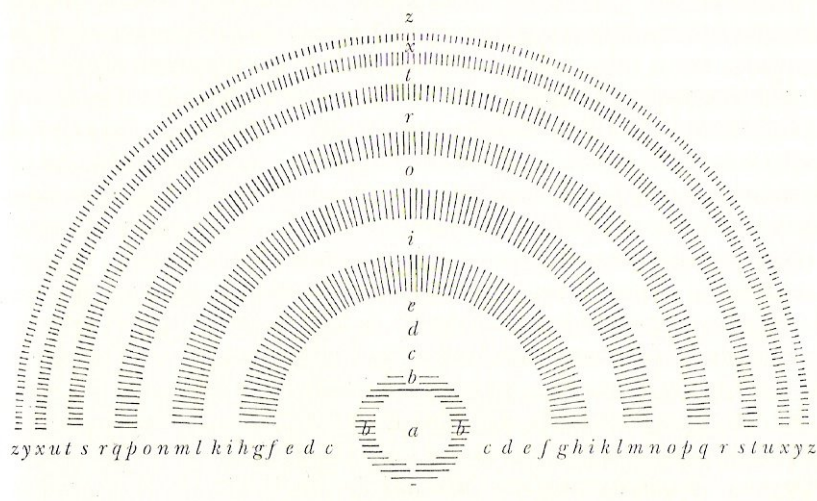


Figura 1 - Desenho utilizado por Newton no *Óptica* para ilustrar o aparecimento dos anéis de cores.

A partir da observação 4, Newton utiliza duas lentes, uma biconvexa e outra planoconvexa, discutindo a ordem das cores dos anéis observados. Um exemplo do aparato está ilustrado na figura 2.

Observação 4

[...] À mancha central transparente produzida pelo contato dos vidros sucediam-se o azul, o branco, o amarelo e o vermelho. O azul era em quantidade tão pequena que não era possível discerni-lo nos círculos produzidos pelos prismas, nem pude distinguir nele nenhum violeta, mas o amarelo e o vermelho eram bem abundantes e pareciam quase tão extensos quanto o branco e quatro ou cinco vezes mais do que o azul. O próximo circuito em ordem de cores que cercavam imediatamente estas era composto de violeta, azul, verde, amarelo e vermelho; e todas essas cores eram abundantes e vívidas, excetuado o verde, que era em

¹⁹ NEWTON 1996, p. 157.

*quantidade muito pequena e parecia muito mais fraco e diluído do que as outras cores [...].*²⁰

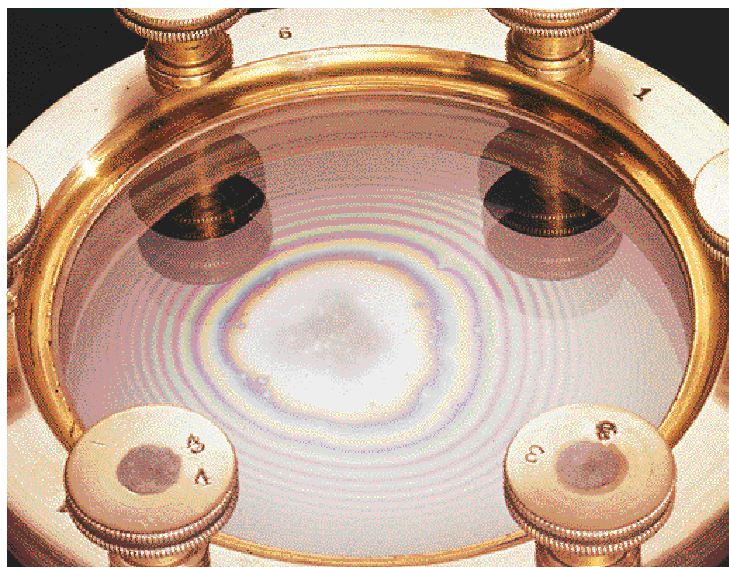


Figura 2 - Exemplo do aparato experimental utilizado por Newton.

Nas observações seguintes, Newton aborda um dos pontos principais de seu trabalho: a medição da espessura de ar entre as duas lentes.

Observação 5

Para determinar o intervalo dos vidros, ou a espessura do ar interjacente pelo qual cada cor era produzida, medi os diâmetros dos primeiros seis anéis na parte mais lúcida de suas órbitas e, elevando-os ao quadrado, verifiquei que seus quadrados estavam na progressão aritmética dos números ímpares, 1, 3, 5, 7, 9, 11. E, como um desses vidros era plano e o outro esférico, seus intervalos nesses anéis deviam estar na mesma progressão. Medi também os diâmetros dos anéis escuros ou fracos entre as cores mais lúcidas e verifiquei que seus quadrados estavam na progressão aritmética dos números pares, 2, 4, 6, 8, 10, 12. E, sendo muito difícil e sutil fazer essas medidas com exatidão, repeti-as diversas vezes em várias partes dos vidros, de modo que sua concordância

²⁰ NEWTON 1996, p.158.

*pudesse confirmá-las. E usei o mesmo método ao determinar algumas das observações seguintes.*²¹

Observação 6

*[...] Então, medindo o diâmetro do quinto círculo escuro tão exatamente quanto pude, verifiquei que era precisamente $1/5$ de 1 polegada. Essa medida foi feita com as pontas de um compasso sobre a superfície superior do vidro superior, meus olhos distavam do vidro aproximadamente 8 ou 9 polegadas, quase perpendicularmente a ele, e o vidro tinha uma espessura de $1/6$ de polegada, sendo portanto fácil concluir que o verdadeiro diâmetro do anel entre os vidros era maior do que seu diâmetro medido acima dos vidros na proporção de 80 para 79, ou aproximadamente, sendo, por conseqüência, igual a $8/79$ partes. Ora, assim como o diâmetro da esfera (182 polegadas) está para o semidiâmetro desse quinto anel escuro ($8/79$ partes de 1 polegada) assim esse semidiâmetro está para a espessura do ar nesse quinto anel escuro; que é, portanto, $32/567\ 931$ ou $100/1\ 774\ 784$ partes de 1 polegada; e a quinta parte disso (a saber, a $1/88739$ éxima parte de 1 polegada) é a espessura do ar no primeiro desses anéis escuros.*²²

Newton repetiu a experiência com outras lentes. A espessura encontrada ($1/89000$ éxima parte de uma polegada, arredondando-se) correspondia a espessura do primeiro anel escuro. Assim, metade dessa espessura multiplicada pelas progressões relatadas na observação 5 dava as seguintes espessuras para os anéis brilhantes (da mesma cor): $1/780000$, $3/178000$, $5/178000$, etc partes de 1 polegada. e para os anéis escuros: $2/178000$, $4/178000$, $6/178000$, etc partes de 1 polegada.

²¹ NEWTON 1996, pp 159-160.

²² NEWTON 1996, p. 161.

Como podemos ver pelos dados apresentados acima, Newton apresentou seus resultados com uma grande precisão. Este fato nos chamou a atenção para entendermos melhor como ele realizava as medidas e como conseguia tamanha precisão em seus resultados. Esse aspecto será estudado em mais detalhes na próxima etapa deste trabalho. Nesta primeira etapa, nos preocupamos em descrever as observações de Newton no *Óptica* sobre o feito.

Outro fato que destacamos é que Newton realizou essas observações a uma determinada distância do aparato experimental. Segundo ele, seus olhos distavam dos raios incidentes 1,25 polegadas e das lentes 8 polegadas, de forma que os raios estavam inclinados por um ângulo de 4 graus. O motivo disso será analisado na próxima etapa deste trabalho.

Após determinar a espessura das camadas de ar, Newton segue com as observações, agora sobre o aparecimento dos anéis.

Observação 9

*Olhando através de duas objetivas contíguas, verifiquei que o ar interjacente exhibia anéis de cores tanto por transmitir a luz quanto por refleti-la [...]*²³

Observação 12

*Estas observações foram feitas ao ar livre. Mas, além disso, para examinar os efeitos da luz colorida que incidia sobre os vidros, escureci o quarto e os vi por reflexão das cores de um prisma projetadas sobre uma folha de papel branco [...] E desse modo os anéis tornavam-se mais distintos e visíveis em um número bem maior do que ao ar livre [...]*²⁴

Na observação 15, Newton abordou pela primeira vez a idéia de “tendências” que o raio teria para ser refletido ou transmitido no filme, que posteriormente remeteriam à teoria dos

²³ NEWTON 1996, p. 164.

²⁴ NEWTON 1996, p.165.

“estados de fácil transmissão” e “estados de fácil reflexão” ou, em inglês, “*fits of easy transmission*” e “*fits of easy reflexion*”²⁵, pontos em que Newton apoiou-se para explicar o aparecimento dos anéis.

Como mostrado na Observação 15, podemos ver que Newton teve uma idéia interessante para observar o que ocorre com a luz após atravessar as superfícies de vidro e a camada de ar: ele as colocou sobre um papel branco, observando as regiões que apareciam escuras de um lado do conjunto apareciam coloridas no papel e vice-versa, como mostrado na Figura 3.

Observação 15

*E, projetando as cores prismáticas imediatamente sobre os vidros, verifiquei que a luz que incidia sobre os espaços escuros que estavam entre os anéis coloridos era transmitida através dos vidros sem nenhuma variação de cor. Pois num papel branco colocado atrás dela comporia anéis com a mesma cor dos que eram refletidos e com tamanho dos seus espaços imediatos. E disso se evidencia a origem desses anéis; a saber, que o ar entre os vidros, de acordo com sua espessura variada, está disposto em alguns lugares para refletir – e em outros para transmitir – a luz de qualquer cor e no mesmo lugar para refletir a luz de uma cor onde ele transmite a de uma outra cor.*²⁶

²⁵ Newton foi o primeiro a utilizar a palavra *fits* em óptica. Seu significado, “estado transitório” nesse caso, deriva de “ataque repentino, mas transitório, de algum tipo específico de doença”. Veja o Oxford Dictionary, p. 262.

²⁶ NEWTON 1996, p.168.

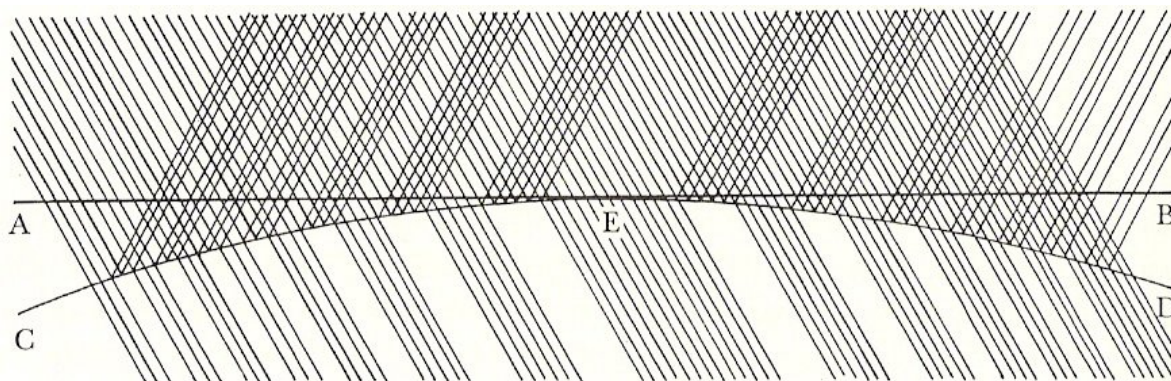


Figura 3 – Segundo Newton, em alguns pontos o ar interjacente está disposto a transmitir o raio, e em outros, a refleti-lo.

No trecho acima, podemos ver que Newton formação dos anéis coloridos à presença de ar entre as superfícies de vidro, sendo que o ar teria uma disposição para refletir ou transmitir a luz.

Nas observações seguintes (17-24), Newton discute o aparecimento dos anéis em bolhas de sabão.

Observação 17

*Se se assoprar uma bolha com água misturada com um pouco de sabão, é comum observar que passado um momento ela se tingirá de uma grande variedade de cores [...]*²⁷

Observação 18

Devido ao fato de as cores dessas bolhas serem mais amplas e viva do que as do ar adelgado entre dois vidros, e, portanto, mais fáceis de distinguir, darei aqui uma descrição de sua ordem, tal como eram observadas ao serem vistas por reflexão do céu quando apresentava uma cor branca, enquanto uma substância preta era colocada atrás da bolha. E as cores eram estas: vermelho, azul; vermelho, azul; vermelho, verde; vermelho, amarelo,

²⁷ NEWTON 1996, p. 169.

*verde, azul, púrpura; vermelho, amarelo, verde, azul, violeta; vermelho, amarelo, branco, azul, preto.*²⁸

Na segunda parte do Livro II, Newton continuou a descrever observações, relacionando-as com as da primeira parte. Apresentou estudos sobre a dilatação dos anéis (que os leva à brancura) e sobre a obliquidade dos raios que incidem sobre as lentes ou prismas. Na terceira parte do Livro II, Newton apresentou suas proposições, baseadas nas observações das duas primeiras partes do livro. Essa parte é constituída de um total de vinte proposições e uma definição, sendo 7 delas destinadas às propriedades dos corpos naturais e suas relações com os fenômenos ópticos, e as restantes à natureza da luz. Estas duas partes do Livro II serão estudadas em mais detalhes na próxima etapa deste trabalho.

4. Dados experimentais

Como vimos, Newton calculou, com bastante precisão, a espessura do ar entre as lentes, sendo que os valores descritos estão em polegadas. Convertendo em metros, ficamos com os seguintes valores mostrados na tabela 1.

Tabela 1 - A espessura do ar entre duas lentes calculada por Newton, em polegada e em metros.

Anéis	Espessura do ar - Polegadas	Espessura do ar - Metros
<i>Em suas partes mais brilhantes</i>		
	1/178 000 pol.	142,69 nm
	3/178 000 pol.	428,09 nm
	5/178 000 pol.	713,48 nm
	7/178 000 pol.	998,88 nm

²⁸ NEWTON 1996, p. 169.

<i>Em suas partes mais escuras</i>		
	2/178 000 pol.	285,39 nm
	4/178 000 pol.	570,79 nm
	6/178 000 pol.	859,18 nm
	8/178 000 pol.	1141,57 nm

No *Óptica* Newton relatou que mediu os diâmetros do anéis de cores com a ajuda de um compasso, mas não fornece mais detalhes sobre outros instrumentos utilizados.

Quanto às especificações das lentes utilizadas, Newton fornece o raio de curvatura e o foco de duas delas, em polegadas. Os dados, em polegadas e em metros, estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Especificações das lentes utilizadas por Newton.

	Raio de curvatura (pol)	Raio de curvatura (m)	Distância focal (pol)	Distância focal (m)
Lente 1	182	4,62	83,4	2,12
Lente 2	184	4,67	168	4,27

A obtenção das lentes para a construção do aparato de lentes utilizado por Newton está em andamento.

5. Próximas etapas

Na próxima etapa deste trabalho, analisarei as observações da Parte 2 e as proposições da Parte 3, completando o estudo do Livro II do *Óptica*, da parte que corresponde aos estudos de Newton sobre a formação dos anéis de cores em películas finas.

Com os dados sobre as lentes utilizadas por Newton, construirei um aparato similar para a visualização dos anéis de cores, bem como o aparato para a visualização dos anéis de cores em bolhas.

6. Referências

6.1 – Bibliografia

- HALL, A. Rupert. All was light: an introduction to Newton's "Opticks". Oxford: Clarendon Press, 1993.
- McGUIRRE, J. E. e TAMNY, Martin (eds.). *Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- NEWTON, Isaac. *Óptica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996.
- NEWTON, Isaac. A Hipótese da Luz. In: COHEN, I. Bernard & WESTFALL, Richard S (eds.). *Newton: textos, antecedentes e comentários*. Rio de Janeiro: Ed Uerj - Contraponto, 2002.
- NEWTON, Isaac. [Discourse of observations]. In: COHEN, I. Bernard & SCHOFIELD, R. E. (eds.). *Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. Pp. 202-235. (NEWTON 1978b)
- NEWTON, Isaac. An hypothesis explaining the properties of light discoursed of in my several papers. In: COHEN, I. Bernard & SCHOFIELD, R. E. (eds.). *Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. Pp. 177-199. (NEWTON 1978a)
- PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and aims. *British Journal for the History of Science* **24**: 61-78, 1991.
- SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981. Pp. 319-42.
- SILVA, Cibelle.C. E a luz se fez. *Ciência Hoje* **207**: 74 –76, 2004.
- SILVA, Cibelle. C. *A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks*. Dissertação (mestrado), Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física "Gleb Wataghin", 1996.

- SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18 (4)**: 313-327, 1996.
- 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. 230-37.
- SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.
- WESTFALL, Richard S. *Never at rest, a biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

6.2 - Biografias de Newton na internet:

- <http://astro.if.ufrgs.br/bib/newton.htm>
- <http://www.ime.unicamp.br/~calculo/history/newton/newton.html>
- <http://www.unificado.com.br/calendario/12/newton.htm>

6.3 - Sobre os “anéis de Newton”:

- <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/aneisnewton/aneisnewton.htm>
- <http://scienceworld.wolfram.com/physics/NewtonsRings.html> (em inglês)
- http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Optics/Newtons_Rings/Newtons_Rings.html (em inglês)