Patricia Guimarães Abramof

"UM ESTUDO DO OPTICKS DE NEWTON

Aspectos do pensamento newtoniano e dos seus métodos de trabalhar em Física"

Dissertação de Mestrado apresentada ao INSTITUTO DE FISICA e à FACULDADE DE EDUCAÇAO da UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - Area de Ensino de Ciências - Modalidade Física

ORIENTAÇAO: Amélia Império Hamburger

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO
1596
e-1
INSTITUTO DE FÍSICA

São Paulo - 1989

SBI-IFUSP
305M810T1596

A 16 Le
M
ex. 1

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Abramof, Patrícia Guimarães
Um estudo do opticks de Newton: aspectos do pensamento newtoniano e seus métodos de trabalhar em física. São Paulo, 1989.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Instituto de Física. Departamento de Física Experimental.
Área de Concentração: Ensino de Ciências (Modalidade Física)
Orientador: Profa. Dra. Amélia Império Hamburger

Unitermos: 1.História da ciência; 2.Método científico; 3.Filosofia experimental; 4.Epistemologia de Newton; 5.Teoria da luz em Newton; 6.Corpuscularianismo; 7.Ótica no século XVII; 8.História da ótica até o século XVII.
USP/IF/SBI - 46/89

Aos meus pais Iêda e Iracy

e ao Eduardo, sempre companheiro

AGRADECIMENTOS

A Amélia Império Hamburger pela orientação participativa principalmente com respeito às discussões e a troca de informações que possibilitaram a realização desse trabalho num processo de libertação do pensamento.

Ao grupo de colegas e amigos que trabalham sob a orientação da Professora Amélia, pelas discussões realizadas nos seminários do grupo.

A Idely Garcia Rodriguez pelas inúmeras contribuições e compreensão do processo.

Aos amigos e colegas pelo apoio e contribuições diversas.

Aos meus pais pela compreensão, apoio e auxílios diversos.

Ao meu amigo e companheiro Eduardo por ouvir, falar e compartilhar todos os momentos.

ABSTRACT

We make a study of the evolution of Newton's ideas on optics. Some aspects of his thoughts are pointed out considering the theoretical tentatives and the precise experiments published in the Opticks.

We use as sources for our studies the original texts of Opticks and of Principia Matematica, together with analyses in History of Science made by specialists such as Westfall, Dobbs, Mc Mullin, Sabra, Shapiro, Cohen, Koyré and others.

We also make a historical summary of ideas regarding the nature and behavior of Light since the Greeks (century V b.C) until Newton's contemporaries (centuries XVI and XVII).

This monograph is written in the perspective of a contribution to the formation of Physics Teachers, in the sense of showing the uncertainties and difficulties of the scientific knowledge construction and also the deep contribuition of an important founder of modern physics.

RESUMO

Fazemos um estudo da evolução das idéias de Newton sobre a ótica destacando aspectos do seu pensamento nas tentativas teóricas e nas precisas experiências contidas no Opticks.

Usamos como fontes do nosso estudo o texto original do Opticks e do Principia Matematica, junto com análises em História da Ciência de especialistas como Westfall, Dobbs, Mc Mullin, Sabra, Shapiro, Cohen, Koyré e outros.

Fazemos também um apanhado histórico com respeito às questões sobre a natureza e comportamento da Luz, desde os Gregos (século V a.C) até os contemporâneos de Newton (séculos XVI e XVII).

Esta monografia foi escrita na perspectiva de ser subsídio para a formação de professores de Física e Ciências, no sentido de mostrar a construção dos conceitos e teorias científicas em sua dimensão histórica.

INDICE

INTRODUÇAO 1

CAPITULO I - NEWTON E O OPTICKS 7

I.1 - Curta biografia - Newton 7

I.2 - Apresentação de uma obra - o Opticks 11

CAPITULO II - OS PRINCIPAIS INTERLOCUTORES DE NEWTON NA FORMULAÇAO DA OTICA DO SECULO XVII 15

II.1 - Descartes e sua Ótica 15

II.2 - Hooke e sua Micrografia 23

II.3 - Huygens e o Traité de la Lumiére 25

II.4 - Barrow e More: suas influências sobre Newton 31

CAPITULO III - A CONSTRUÇAO DA OTICA DE NEWTON 34

III.1 - A questão das cores da luz branca 34

III.2 - O desenvolvimento de sua teria das cores 37

- A Teoria 44

- A experimentação e o "Experimentum Crucis" 46

III.3 - Das idéias de Newton sobre as cores obtidas em filmes finos 48

- Os "Fits" 51

INDICE

INTRODUÇAO 1

CAPITULO I - NEWTON E O OPTICKS 7

I.1 - Curta biografia - Newton 7

I.2 - Apresentação de uma obra - o Opticks 11

CAPITULO II - OS PRINCIPAIS INTERLOCUTORES DE NEWTON NA FORMULAÇAO DA OTICA DO SECULO XVII 15

II.1 - Descartes e sua Ótica 15

II.2 - Hooke e sua Micrografia 23

II.3 - Huygens e o Traité de la Lumière 25

II.4 - Barrow e More: suas influências sobre Newton 31

CAPITULO III - A CONSTRUÇAO DA OTICA DE NEWTON 34

III.1 - A questão das cores da luz branca 34

III.2 - O desenvolvimento de sua teria das cores 37

- A Teoria 44

- A experimentação e o "Experimentum Crucis" 46

III.3 - Das idéias de Newton sobre as cores obtidas em filmes finos 48

- Os "Fits" 51

III.4 - A concepção corpuscular da luz em um caso exemplar: a refração 57

III.5 - A teoria de ondas e a interpretação ondulatória da luz na visão de Newton ...64

CAPITULO IV - CONCEITOS TRABALHADOS POR NEWTON NO OPTICKS 69

IV.1 - Éter e Atividade 69

IV.2 - Princípios ativos 75

IV.3 - Vis Inertiae 78

IV.4 - A natureza corpuscular ativa e passiva da luz 84

CAPITULO V - A EPISTEMOLOGIA DE NEWTON 87

V.1 - Sua epistemologia e a concepção corpuscular 87

V.2 - Sua metodologia (explicitada no Opticks) ..91

CONSIDERACOES FINAIS 96

APENDICE I - PANORAMA DA OTICA DESDE OS GREGOS ATE OS SECULOS XVI E XVII 101

1 - A luz da ótica dos antigos pensadores ..101

2 - A ótica da Idade Média 110

3 - A ótica dos séculos XVI e XVII 124

APENDICE II 131

REFERENCIAS 141

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR 145

INTRODUÇAO

A ótica, desde a origem de sua construção quando ainda não possuia o significado de hoje e era apenas um "pensamento filosófico" que tinha como alvo a explicação para o sentido da visão, toma como objeto central de estudos a luz, seu comportamento e sua natureza. Reconhecemos desde então que as determinações do comportamento e da natureza da luz são construções conceituais dentro de teorias desenvolvidas durante o processo de construção do conhecimento e não verdades absolutas, acabadas e rigidas.

A ótica apresentada nos livros didáticos, principalmente nos livros de segundo grau, é estudada numa perspectiva limitada em relação às teorias desenvolvidas da física. Isto quer dizer que, mesmo não trazendo erros conceituais, os livros didáticos tendem a reduzir a ótica em algumas regras de formação de imagens e em algumas idéias geométricas sobre a reflexão, refração e comportamento da luz, não tocando muitas vezes na questão de sua natureza.

Dessa diferenciação percebemos que o livro didático parece não estar neste caso facilitando a tarefa do professor. O livro didático confirma muitas vezes para os alunos, e até para alguns professores, que a física é um tipo de conhecimento que pela sua forma acabada e estática, esquematizada matematicamente, é de dificil compreensão. Vemos assim que em muitos casos a limitação sofrida pela ótica nos cursos de física do segundo grau está ligada à

própria compreensão que o professor tem sobre o assunto. E para modificar este estado de coisas é que propomos o contato do professor com um estudo que mostra a ciência em formação, tomando em consideração todos os aspectos envolvidos desde a gênese do seu desenvolvimento: os lógicos e experimentais, metafísicos, físicos e também os sociais e econômicos.

Nossa contribuição, neste sentido, é apresentar um trabalho que recupere o pensamento newtoniano numa dimensão mais ampla do que aquela mostrada nos livros didáticos, tendo como ponto central a ótica de Newton. Consideramos irrefutável a importância das obras de Newton no desenvolvimento e estabelecimento de uma física moderna, e também de modo geral na ciência como um todo. Assim nos deteremos na sua ótica e na sua epistemologia esclarecida quando no momento de seus estudos óticos. Mostraremos que a ótica de Newton apresenta muitas idéias com firmes traços de contemporaneidade, reconhecidas agora, trezentos anos depois, graças aos movimentos e renovações sofridas pela ótica durante este longo período.

Para nós, <u>recuperar aspectos vivos no processo de criação de uma teoria, é aprofundar no conhecimento desta mesma teoria e criar novas relações de compreensão com teorias mais avançadas</u> a medida que reconhecemos os limites conceituais impostos pelo momento histórico da criação desse conhecimento. Esta nova forma de entendimento, fazendo uma ponte dinâmica entre passado e presente, leva-nos a pensar uma teoria física não como um conhecimento dogmático mas um

conhecimento vivo e dinâmico que estabelece forte ligação de cada um de nós com a realidade dos fenômenos estudados e de seus significados.

Este trabalho está centrado nos nossos estudos e discussões de teorias e questões apresentadas por Newton no Opticks, tentando reconhecer, compreender e recuperar elementos teóricos e epistemológicos de seu pensamento na física. Como instrumentos para compreensão de tais elementos e sua evolução utilizamos de títulos em História da Ciência de autores como Crombie, Ronchi, Cajori e Bernard I. Cohen; e de outros em estudos sobre a ótica e o universo conceitual de Newton como Sabra, Dobbs, Westfall, Mc Mullin, Shapiro, Cohen e Koyré.

Sem dúvida a obra de Newton é uma grande síntese do pensamento antigo e do renascentista. Neste sentido o Opticks, que segundo Cohen é uma "Grande Criação", faz parte dessa síntese newtoniana. Não se tem dúvidas, também, que o Opticks possui traços diferentes dos Princípios já que não consegue chegar a "Leis gerais da Natureza". É certo que para realizar tal tipo de obra é necessário que diversas contribuições e influências das mais diferentes, e até paradoxais, tenham convergido no momento da criação. Não faremos aqui um estudo dessas influências, mas levaremos em consideração, pelo menos as contribuições em ótica conhecidas direta ou indiretamente por Newton, principalmente aquelas defendidas por seus contemporâneos e/ou opositores.

Nosso trabalho parte de uma primeira leitura do Opticks que por sua riqueza e complexidade de idéias, nos remeteu a várias outras leituras em História da Ciência, Física e epistemologia, afim de obtermos elementos de pensamento para que pudessemos entendê-las e analisá-las. Desse conhecimento do Opticks chegamos, então, a considerar Newton como um dos fundadores da ótica física, implantando uma epistemologia assentada na "razão e experimento".

No capítulo I fazemos uma curta biografia de Newton e uma apresentação do Opticks. Esta obra é resultado de um longo trabalho experimental realizado durante mais de 30 anos, até a data de sua primeira publicação, 1704.

No capítulo II estudamos pensadores pré-contemporaneos e contemporaneos de Newton e suas "teorias" sobre a luz, que direta ou indiretamente influenciaram sua obra, principalmente o Opticks, sendo em alguns casos tomados como seus opositores. A importância dada, por exemplo, a Hooke e Huygens baseia-se na existência de uma intensa correspondência entre eles e Newton, onde são discutidos pontos que vieram esclarecer e firmar sua epistemologia, além de sua própria "teoria" quanto às propriedades da luz.

Nos capítulos seguintes, fazemos um estudo do Opticks a partir de leituras do original e de apresentações e discussões em seminários. Para um entendimento mais amplo do pensamento newtoniano e de sua ótica apoiamo-nos em especialistas no assunto como: Dobbs, Westfall, Mc Mullin e Sabra.

No capítulo III mostramos a construção da ótica de Newton detendo-nos em dois pontos principais: a questão das "cores prismáticas" da luz branca; e a questão das cores da luz branca obtidas em filmes finos. No primeiro ponto identificamos a evolução e esclarecimentos de pontos fundamentais de sua teoria das cores desde as Optical Lectures (~1670) até o Opticks (1704), como a heterogeneidade da luz branca. No segundo ponto apresentamos a formulação da Teoria dos "fits" e fazemos uma discussão sobre a visão de Newton com respeito à concepção ondulatória da luz. Tanto no primeiro ponto como no segundo mostramos alguns experimentos realizados por Newton.

No capítulo IV fazemos um estudo de alguns conceitos trabalhados no Opticks levando em consideração a influência da alquimia e do pensamento neo-platônico na ótica de Newton. Na explicitação de significados de conceitos reconhecemos aspectos embrionários do conhecimento de hoje que nos permite fazer uma ponte dinâmica entre o passado e o presente.

No capítulo V tratamos da epistemologia de Newton fundamentada na "razão e experimento".

No Apêndice I apresentamos um panorama da história da ótica desde os antigos pensadores gregos (~sec. V a.C) até os séculos XVI e XVII, afim de situar historicamente a ótica da época vivida por Newton.

Do ponto de vista da formação do professor, este estudo epistemológico deverá mostrar a historicidade do conhecimento. Por exemplo, a "explicação" para as cores dos

últimos escolásticos, assumia significado diferente a partir do sec XV juntamente com as significativas mudanças da sociedade e do próprio conhecimento; no nascimento da Idade Moderna, homens como Newton sintetizaram várias idéias presentes e passadas numa única "explicação", prenúncios de desenvolvimentos futuros.

Nosso trabalho, voltado para o Ensino de professores, procurou esclarecer alguns pontos da ótica de Newton dentro do seu pensamento cientifico. Ele permitiu-nos perceber a complexidade envolvida no processo de criação do conhecimento cientifico, estimulando-nos a explicitar significados, como por exemplo no caso do conceito de interação. Pensar que não só em teorias de séculos passados e na ótica de Newton, como também em teorias elaboradas posteriormente, esse conceito é fundamental para a própria definição dos objetos das teorias, ampliou e aprofundou nossa compreensão daquilo que consiste a própria Fisica.

CAPITULO I

NEWTON E O OPTICKS

I.1 - CURTA BIOGRAFIA - NEWTON

Isaac Newton nasceu em Woolshorpe, Lincolnshire, Inglaterra no natal do ano em que faleceu Galileu (1642), e muito cedo, aos três anos de idade perdeu o pai. Aos 12 anos ingressou na escola Grantham, passando a morar na casa de um farmacêutico interessado em ciências, Dr. Clark, que lhe emprestou os primeiros livros de matemática e fisica. Aos 15 anos, por motivos familiares, teve que deixar os estudos e voltar para casa, demonstrando a todo tempo insatisfação por ter que trabalhar na granja da familia.

Em 1661, aos 18 anos, por influência de um tio, William Aysough, membro do Trinity College, retoma os estudos ingressando no Trinity College em Cambridge. Nesta época era fortemente influenciado pela filosofia de Descartes, pelo neo-platonismo de Henry Moore e pelo empirismo baconiano.

No Trinity College Newton decide estudar fisica e matemática além de estudar a ótica de Kepler e a geometria cartesiana. No ano de 1665, aos 23 anos, obtém seu primeiro titulo acadêmico de Bacharel, ano de publicação da Micrografia de Hooke.

Suas primeiras contribuições para a ciência datam de 1666, ano em que a peste assolou a Grã-Bretanha

obrigando a universidade a fechar as portas e fazendo Newton refugiar-se na casa de seus familiares na zona rural de Woolshorpe. Nesse periodo Newton desenvolveu três pontos fundamentais de sua obra: o cálculo, desenvolvendo o teorema do binômio e o método matemático dos fluxões que considera "cada grandeza finita como engendrada por um movimento ou fluxo continuo, tornando possivel calcular áreas limitadas total ou parcialmente por curvas, bem como volumes de figuras sólidas"; uma teoria sobre a natureza da luz branca a partir de observações em alguns experimentos; e as primeiras idéias sobre a gravitação universal.

Passada a epidemia Newton voltou a Cambridge e em 1669 é nomeado titular da "Lucassian Chair" de matemática no lugar do seu mestre e antecessor Isaac Barrow e por volta de 1670 apresentou sua primeira tentativa de formulação de uma teoria das cores nas suas Optical Lectures. Em 1672 apresentou à Royal Society, para ser admitido como membro, outro trabalho em ótica, o New Theory about Light and Coulors, resultado de conferências e discussões desde seu ingresso em Cambridge. Este trabalho foi motivo de grande polêmica com Hooke, já membro da Royal Society, e depois de discussões constituiu-se no Livro I do Opticks, publicado pela primeira vez em 1704.

A forte divergência entre Newton e Hooke é reforçada quando Newton apresentou à Royal Society um escrito sobre os fenômenos cromáticos em peliculas finas e uma explicação para as propriedades da luz. Apesar de Newton esperar apoio de Hooke este fez um duro ataque ao artigo

afirmando que ele apenas se limitava a desenvolver algumas questões levantadas em sua Micrografia. Existiu uma longa polêmica de extrema rivalidade entre Hooke e Newton, não só na ótica, mas também na gravitação, em 1687 é publicada pela primeira vez o Principia.

De 1667 até 1729 Newton passou por sucessivos periodos de estudos alquímicos deixando muitos originais que só foram conhecidos recentemente.

Em 1687 Newton foi eleito deputado do parlamento como representante de Cambridge. Pouco depois passou a dedicar-se também ao trabalho na Casa da Moeda da qual se tornou diretor até a morte.

Em 1693 Hooke acusa Newton de ter cometido plágio no Principia e Leibniz tenta conseguir reconhecimento como inventor do cálculo, o que leva Newton a uma crise nervosa de dois meses. Depois da morte de Hooke, Newton aceita a presidência vitalicia da Royal Society e em um acontecimento inédito é feito cavaleiro da rainha.

Newton ainda escreveu alguns textos religiosos como uma carta a Locke em 1690 sob o titulo: Crônica sobre Duas Notáveis Concepções da Escritura que em 1754 foi publicada sob forma de duas cartas: Observações sobre as profecias de Daniel e O Apocalipse de São João.

A maior parte de seu trabalho foi publicada depois de 1693, como no caso do Opticks (1704) que ainda sofreu alterações posteriores. Outros manuscritos nem foram publicados e só vieram a ser conhecidos agora no século XX.

E em 20 de março de 1717 aos 85 anos morre Isaac Newton, sem ter se casado, sem filhos, mas deixando uma tal criação que influenciou várias gerações de pensadores e físicos.

Nota: os dados apresentados neste subtítulo foram obtidos no prefácio do Principia por A. Escohobato e na Coleção Os Pensadores.

I.2 - APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA - O OPTICKS

"Grandes criações - se da ciência ou da arte, nunca devem ser vistas imparcialmente" (Bernard I. Cohen). E é sobre uma especial obra que falaremos a seguir.

O Opticks apresenta-se dividido em três grandes livros, o primeiro traz as definições, os axiomas e proposições sobre a reflexão, refração da luz e as cores obtidas por refração em prismas. O segundo livro é um pouco menos formal, mesmo porque Newton não fechou sua teoria com respeito à ótica. São apresentados na parte I as observações feitas a partir de experimentos referentes à reflexão, refração e cores obtidas de corpos finos transparentes; a parte II traz uma nota relativa às observações precedentes; a parte III traz as proposições sobre cores permanentes em corpos naturais e sua analogia para as cores obtidas em filmes finos e transparentes; e na parte IV são apresentadas novas observações, agora com respeito às cores obtidas pelos filmes finos polidos e transparentes. O terceiro livro apresenta algumas observações com respeito à "inflexão" dos raios de luz e as cores obtidas aí, e mais 31 questões que sintetizam a ótica de Newton e introduzem muitas de suas idéias sobre assuntos como o calor, a visão, o éter, a natureza da luz e a interação da luz com os corpos, suas idéias gerais sobre a matéria, o método de pesquisa e sua epistemologia.

É importante frizar que o Livro III foi o único a sofrer modificações no passar das primeiras edições do Opticks. A primeira edição data de 1704 - Londres. Esta edição em inglês apresentou os três livros, sendo que o terceiro trazia apenas 16 questões que correspondem às questões de 1 a 16 na edição de 1730. Estas questões tratam de forma mais restrita alguns assuntos como: calor, visão, inflexão e cores. Em 1706, o Opticks foi novamente editado, desta vez em latim, e apresentou sete novas questões que correspondem às questões de 25 a 31 na edição de 1730, tratando de forma mais extensa e abrangente pontos como: refração incomum ocorrida no cristal da Islândia (dupla refração), as vibrações do éter, a natureza corpuscular dos raios de luz, interação da luz com os corpos e as particulas que compõem todo o universo.

A terceira edição, segunda em inglês, data de 1718 que manteve os livros I e II e apresentou 8 novas questões para o livro III, que são as de número 17-24 na edição de 1730 e tratam de forma mais reservada e especifica a questão do éter.

As edições de 1721 e 1730 mantiveram a forma e foi preciso se passarem dois séculos para que o Opticks fosse novamente editado. A edição de 1931, baseada na quarta edição em inglês, traz um foreword de A. Einstein e uma introdução de Sir. Edmund Whittaker e é uma publicação da G. Bell and Sons Ltd - Londres.

A edição de 1952 é uma republicação da edição inglesa de 1931 e que teve como editora a Dover Publications

- USA. A edição de 1979 que foi utilizada nesta pesquisa tem prefácio de I. Bernard Cohen e mantem na integra a edição de 1952 sendo também uma publicação da Dover.

Talvez seja importante observar que os duzentos anos que separam a quarta publicação do Opticks e a edição de 1931 não foram simplesmente fruto de um esquecimento, ou seja, acreditamos que existia um forte motivo pelo qual o estudo do Opticks tornava-se dispensável. O motivo está talvez, como coloca I. Bernard Cohen no seu prefácio, na falta de harmônia entre as idéias contidas nele e os interesses principais dos cientistas do século XIX. O Opticks apresentava uma teoria corpuscular da luz "errada" mesmo que contendo principios básicos da teoria de onda "correta". Bernard Cohen aponta, além disso, que Newton não apenas deu preferência à teoria corpuscular mas aparentemente não achou dificuldades em aceitar simultaneamente teorias com caracteristicas quase que opostas, violando então uma das mais fortes regras filosóficas dos cientistas dessa época, que "asseguravam que se existissem duas teorias conflitantes haveria sempre um experimento crucial que iria decidir univocamente em favor de uma delas" (no Opticks de 1979).

Nesse sentido, Newton coloca suas idéias nos três livros e principalmente no terceiro com respeito às propriedades da luz e seu comportamento de forma extremamente interessante, procurando nunca ir no sentido de desenvolver idéias destituidas de significado fisico e portanto procurando sempre resgatar uma ligação real com a

natureza e não apenas fazer modelos de seu comportamento. Sendo assim Newton aproxima-se muito das visões modernas das ciências da natureza onde não é necessário que idéias aparentemente contraditórias se excluem, como no caso da dualidade onda-corpúsculo. Para tanto consideramos que Newton não deve ser colocado como um antecipador de idéias, mas a sua ótica deve ser tratada como realização de grande "insight" na direção do século XX.

Nota: os dados deste subtitulo tem por base o prefácio do Opticks escrito por I. Bernard Cohen.

CAPITULO II

OS PRINCIPAIS INTERLOCUTORES DE NEWTON NA FORMULAÇAO DA OTICA DO SECULO XVII

II.1 - DESCARTES E SUA OTICA

Descartes tratou de questões relativas à ótica basicamente em três obras: No La Dioptrique (1637), no Les Méteores (1637) e no Le Monde (publicação póstuma de 1664). Vale ressaltar que apesar do Le Monde ou Traité de la Lumieré só tenha sido publicado mais tarde, ele já tinha sido completado em 1633 (Sha-LP, pag. 239 e 251).

A obra de Descartes, na ótica, foi relativamente grande e diversificada tendo chegado a importantes resultados. Entretanto por estar comprometida com sua visão da mecânica sofreu sérias limitações conceituais, como veremos por exemplo no caso da propagação instantânea da luz.

Descartes considerava a luz como um dos principais fenmenos celestes, e tentou explicar explicar esse fenômeno em concordância com os principios da matéria e do movimento.

Segundo Shapiro (Sha-PL, pag. 243), Descartes identificava apenas matéria e extensão. Extensão seria uma redução de vários atributos da matéria como o comprimento, a dureza e a cor. A matéria seria homogênea, incompressivel, preenchia todo o espaço e não permitia a existência do vazio. E desde que não existia vazio, todo movimento deveria

ser em círculos ou aneis. Pois se um corpo movia, então outro deveria simultaneamente ocupar aquele espaço deixado e um terceiro ocuparia o espaço deixado pelo segundo e assim sucessivamente formando um movimento em aneis. Esta concepção é um dos fundamentos da construção dos vórtices de Descartes.

Descartes considerava que Deus era a causa original de todo o movimento no mundo e desde que Deus era imutável, Ele preservava sempre a mesma quantidade de movimento no universo. E todos os movimentos obedeciam a três leis da natureza: A primeira afirmava que cada parte da matéria particularmente continuava sempre no mesmo estado de movimento a menos que viesse a ser forçada a mudar de estado pelo contato com outra parte. A segunda afirmva que quando dois corpos se encontram um perde movimento tanto quanto é adquirido pelo outro. E a terceira afirmava que que quando "um corpo é iniciado no movimento, ele sempre tende a se movimentar em linha reta, ainda quando ele pudesse ser forçado a mover-se de outro modo" (Sa-TLDN, pag. 50-3).

Para Descartes, no inicio Deus dividiu toda a matéria do mundo em grupos de elementos de tamanhos uniformes. Os céus foram preenchidos com dois grupos de elementos. Um grupo que possuia movimento de rotação em torno de centros externos, criando os vórtices em torno das estrela fixas e do sol. E outro grupo com movimento de rotação em torno de sues próprios eixos. Um terceiro grupo de elementos iria formar os planetas, a terra e os cometas.

Os elementos do primeiro grupo tinham velocidade maior do que as bolas girantes ou "globolis" que pertenciam ao segundo grupo. Estas bolas girantes eram maiores que aquelas do primeiro grupo mas eram muito menores que aquelas do terceiro. Os elementos do terceiro grupo eram os maiores e entravam na composição da terra, dos planetas, cometas e de todos os corpos (Sha-PL, pag. 245).

A luz para Descartes

A luz como principal fenômeno celeste era considerada como sendo constituida de elementos do segundo grupo, bolas girantes. Para Descartes, o esforço (conatus) das bolas girantes de retrocederem de seus centros ou movimento de rotação em torno de seus próprios eixos estava plenamente plenamente de acordo com as leis do movimento. Shapiro esclarece que o substantivo do latim "conatus" pode ser traduzido para o inglês como "effort", "endeavour", "inclination" ou "tendency", mas a tradução padrão do século XVII para "conatus" foi "endeavour" (Sha-PL, pag. 264).

Na verdade Descartes usou basicamente de três analogias mecânicas no tratamento da luz.Primeiro considerou que ela era uma pressão transmitida instantaneamente através da matéria. Em segundo, impulsos transmitidos pelos corpos transparentes seriam como a tendência do vinho de passar entre as uvas que estavam dentro de um barril com um burraco no fundo, i. é, as "uvas seriam analogias para os elementos do terceiro grupo que formavam a matéria sólida dos corpos transparentes, e o vinho seria uma analogia para os elementos do segundo grupo (luz), que passava pelos poros

de todos os corpos que transmitiam a luz". Esta analogia foi feita na ocasião do La Dioptrique quando Descartes expunha sua hidrostática e sua ótica. Em terceiro, a luz era comparada com bolas movendo-se. Com esta analogia explicou a reflexão e refração e chegou na lei dos senos (West-DNT, pag. 340).

Sobre o arco-iris

Na sua explicação para o arco-iris, cuja teoria foi apresentada no Les Meteores, as cores deveriam ser produzidas pela refração. Isto quer dizer que, apesar de ter explicado corretamente o que estava acontecendo nas gotas de água espalhadas numa região da atmosfera para que o arco-iris fosse produzido, considerou equivocadamente que cor era uma produção da refração.

Na sua explicação correta para o arco-iris considerava que o primário era produzido depois de uma reflexão interna do raio à gota de água, sendo espalhado num ângulo de 42 graus e o secundário era produzido após uma segunda reflexão interna, espalhando um ângulo de 52 graus.

As cores seriam produzidas na refração, de modo que quando as velocidades de rotação das bolas girantes aumentavam, aparecia o final vermelho do espectro, e quando diminuia aparecia o final azul. E quando as bolas girantes estavam com velocidade de rotação igual àquela da primeira emissão, a sensação produzida era o branco.

Assim no seu Les Meteores, além de calcular a configuração geométrica do arco-iris, Descartes tentou explicar as cores do arco-iris por uma mecânica que fazia

parte do sistema cartesiano e que certamente influenciou a geração seguinte.

Sobre as cores

Sua teoria das cores baseava-se nas observações das cores prismáticas que, segundo Shapiro, foram obtidas de "experimentos que sofreram as mesmas imperfeições como todos os experimentos com cores prismáticas antes de Newton", como por exemplo o espectro não ser observado suficientemente separado do prisma em experiências que possibilitaram a obtenção das cores, isto é, observações de luz monocromática.

Sobre as cores prismáticas Descartes chega a duas conclusões: primeiro que a refração deve existir de forma que os efeitos de uma refração não pode ser destruída por outra. Exceto no caso da luz passando por um corpo de faces paralelas, a refração na primeira face era anulada pela segunda, e neste caso as cores não eram produzidas. Segundo, as cores são produzidas somente a certos graus de incidência da emissão.

Para explicar as cores produzidas na refração, Descartes assumiu que os movimentos de rotação das partículas esféricas que compunham a luz, ou dos elementos do segundo grupo, alteravam se na refração. Quando as bolas giravam com velocidade aproximadamente igual a seus movimentos em linha reta, então a emissão aparecia como branca. Entretanto aquelas bolas que tivessem seus movimentos de rotação alterados, diminuídos ou aumentados, dariam origem às cores (Sha-KO, pag. 190).

Segundo Westfall, a concepção de Descartes de cores como sendo modificações impressas devida à refração não teve sucesso na explicação das cores prismáticas, e mostrava ainda conformidade com as idéias aristotélicas no assunto. Mesmo assim, a ótica de Descartes exerceu um "peculiar dominio sobre a mente dos investigadores da ótica da geração seguinte" (West-DNTC, pag. 344).

Sobre a propagação instantânea da luz

Diversos autores sustentavam a idéia da propagação instantânea da luz. Desde Aristóteles com sua idéia de que a luz era um "estado" ou "qualidade", até Grossetest, Witelo e Kepler. Essa idéia se mantem na doutrina de propagação instantânea da luz de Descartes.

Neste caso Descartes utilizou da analogia que considerava a luz como uma pressão que se propagava ao longo de linhas retilineas na direção radial ou na direção do centro do movimento circular, através de um meio formado pelos elementos do segundo grupo.

A luz seria, neste caso, uma sucessão de choques recebidos e transmitidos pelos elementos do segundo grupo. Mas porque esta transmissão deveria ser instantânea? Descartes responde esta pergunta no seu Traité: "E sabendo que os elementos do segundo grupo ...tocam e pressionam uns aos putros tanto quanto é possivel, nós não podemos duvidar que a ação pela qual os elementos do segundo grupo são empurrados, passam pelos elementos do segundo grupo em um instante: mesmo tipo de ação pela qual uma extremidade de um pedaço de pau é empurrado e passa à outra extremidade no

mesmo instante" (citado por Sa-TLDN, pag. 54; Le Monde, Descartes, pag. 95).

Dessa forma, segundo Shapiro, a doutrina de propagação instantânea é consequência necessária da concepção de Descartes de um meio servindo como veiculo da luz. Meio que possuia natureza determinada pelos principios cartesianos da matéria.

Newton e a ótica de Descartes

Newton tomou conhecimento dos trabalhos cientificos cartesianos, Discours de la Methode (1637), muito cedo quando ainda era estudante de graduação por volta de 1665.

Na ótica, Newton rejeita muitos conceitos cartesianos como por exemplo a propagação instantânea da luz, mas de certa forma aceita outros conceitos os quais desenvolve e acaba por incorporá-los no seu próprio trabalho, como no caso da lei da refração apresentada por Descartes no La Dioptrique.

Uma objeção de Newton à ótica de Descartes era que a concepção de luz como propagação de choques em meios violava a lei da propagação retilinea, desde que uma pressão propagada em meio fluido divergia de um ponto depois de passar por uma abertura colocada no seu caminho. Certamente esta objeção, reafirmada e apresentada no Opticks nas Questões 27 e 28 do Livro III, não era diretamente feita à ótica de Descartes já que outros trabalharam com esta concepção, Hooke e Huygens por exemplo. A principal critica de Newton referia-se à teoria das cores prismáticas de

Descartes que as considerava como modificações impressas na luz pela refração. Esta concepção de modificação impressa ia absolutamente contra às novas descobertas de Newton com respeito às cores prismáticas, como veremos adiante.

Sem dúvida algumas contribuições de Descartes são consideradas como marco na história da ótica, durante o século XVII: a derivação correta da lei dos senos na refração e a explicação correta para o arco-iris numa aproximação clássica.

II.2 - HOOKE E SUA MICROGRAFIA

Na sua Micrografia publicada em 1665 (Sha-KO, pag. 189 a 202), ano em que Newton iniciava-se nos estudos da ótica, Hooke segue Descartes na tentativa de explicar as propriedades da luz pela ação de uma sutil matéria que ocupava todo o espaço e permeava toda a matéria. O principal alvo de suas investigações óticas era dar uma explicação para as cores observadas em corpos finos e transparentes como por exemplo a Mica.

Hooke refuta a teoria das cores de Descartes argumentando principalmente que as cores poderiam ser produzidas quando o raio de luz sofria duas refrações sucessivas, como no caso das cores observadas nos filmes finos. Mesmo assim continua com a concepção cartesiana de cor como uma produção da refração, ou uma modificação sofrida pela luz quando passava de um meio para outro de diferente densidade.

Desde que Hooke já havia assumido que a luz era um rapidissimo movimento vibratório transmitido através de meio susceptivel a tal vibração, considerou então que a frente de pulsos, que consistia a luz, seria inclinada pela refração e esta inclinação dos pulsos produziriam as cores (veja Fig.6, Apêndice II). Segundo Hooke, o lado do pulso (CHK) que fazia um ângulo agudo com a frente do raio produzia o azul e a parte (GI) que fazia um ângulo obtuso produzia o vermelho. E

as outras cores eram alterações dessas duas ou derivadas das misturas do azul com o vermelho.

A concepção da luz como frente de ondas, com a qual Hooke tentou explicar o arco-iris, a refração e as cores, esbarrou em alguns problemas que só foram solucionados mais tarde. Por exemplo a aproximação ondulatória de Hooke para a luz foi incapaz de explicar a propriedade de focalização de lentes, e o impossibilitou de chegar no conceito de luz monocromática quando trbalhava com cores obtidas em filmes finos.

Mesmo assim a Micrografia de Hooke é relevante pois pela primeira vez as cores observadas em filmes finos são, em fato, reconhecidas como fenômeno físico de importância significativa. Hooke propôs que estas cores dependiam de uma certa periodicidade dos pulsos, observação que passou despercebida por Huygens que também trabalhou com frente de ondas.

Shapiro salienta que Young reconheceu nos seus trabalhos em ótica que Hooke tinha dado notável contribuição para a teoria contínua da luz, principalmente através do princípio de "interferência" apresentado de forma ainda primária na Micrografia. Além disso, apesar de que Hooke nunca chegou a entender a teoria das cores de Newton, acabou por estimulá-lo a explicitar esta mesma teoria, por meio de suas inúmeras críticas feitas a Newton desde o seu primeiro trabalho publicado, como veremos a seguir.

II.3 - HUYGENS E O TRAITE DE LA LUMIERE

O Traité de la Lumière publicado em 1690 representa, segundo Shapiro (Sha-KO, pag. 207), o ápice da tradição cinemática na teoria continua da luz do século XVII. Huygens lançou a concepção de frente de onda na sua forma mais geral, i. é, uma frente de onda representa o local dos pontos alcançados pela pertubação em um dado instante e são perpendiculares ao raio.

A ótica do Traité é de natureza puramente cinemática e a teoria da luz é fundamentada basicamente no principio da propagação da luz com velocidade finita. Apesar de ter apresentado no Traité um exaustivo tratamento da cinemática da propagação das ondas, Huygens deixou várias áreas da ótica intocadas, como por exemplo a questão das cores, a difração e interferência.

O "Principio de Huygens"

Huygens inicia seu Traité considerando que a luz é, certamente, um movimento "pelo menos na verdadeira Filosofia em que se concebe as causas de todos os efeitos naturais em termos de um movimento mecânico" (Huy-TL, pag. 3).

Baseando neste principio Huygens rejeitou a teoria da emissão de luz de Newton e concluiu que a luz deveria ser um movimento transmitido através da matéria ou meio que está entre nossos olhos e o objeto luminoso.

Segundo Shapiro (Sha-KO, pag. 219), Huygens faz ainda uma analogia entre luz e som apontando três diferenças entre as ondas propagadas em um caso e outro. Elas diferiam: na geração, no meio de propagação e no modelo ou tipo de propagação. Na geração, o som era produzido por movimento uma fonte extensa, já a luz era produzida pelo movimento de cada ponto da fonte. No meio de propagação, o som propagava-se no ar, e a luz era propagada no éter que penetrava livremente em toda a matéria. Finalmente no tipo de propagação, o som era propagado através do ar, enquanto a luz era propagada através do éter que consistia de particulas menores que aquelas do ar.

É importante notar no entanto que Huygens não imaginava de modo nenhum que a luz pudesse ser tratada como ondas periódicas. A primeira proposta de periodicidade da luz correspondendo a cores do espectro foi apresentada por Newton no Opticks. Para Huygens: "Como as percussões no centro dessas ondas não possuem uma sequência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam às outras por distâncias iguais. ..." (Huy-TL, pag. 21).

Quanto à propagação cinética dessas ondas Huygens coloca: "Deve-se ainda considerar que na emanação dessas ondas que cada particula de matéria atingida por uma onda não deve comunicar seu movimento apenas à particula próxima que está na linha reta traçada do ponto luminoso; mas que ela também o comunica necessariamente a todas as outras que a tocam, e que se opõem a seu movimento. De modo que deve ocorrer que em torno de cada particula se produza uma onda

da qual essa particula seja o centro. Assim se DCF é uma onda emanada de um ponto luminoso A, que é seu centro; a particula B, uma das que estão compreendidas na esfera DCF, produzirá sua onda particular KCL, que tocará a onda DCF em C, no mesmo momento em que a onda principal, emanada do ponto A, tenha chegado a DCF. É claro que a onda KCL tocará a onda DCF apenas no lugar C, que está na reta traçada por A e B. Da mesma forma as outras particulas compreendidas na esfera DCF, como bb, dd, etc., terão cada uma produzido uma onda. Mas cada uma dessas ondas não pode ser senão infinitamente fraca comparada à onda DCF, para cuja composição todas as outras contribuem pelas partes de suas supreficies que estão mais afastadas do centro A. Vê-se além disso qua a onda DCF é determinada pela extremidada do movimento que saiu do ponto A em certo espaço de tempo, não havendo movimento além dessa onda, embora haja no espaço por ela contido, ou seja, nas partes das ondas particulares que não toquem a esfera DCF. Não deve parecer que tudo isso é pesquisado com cuidado excessivo, nem com sutileza; pois ver-se-á posteriormente que todas as propriedades da luz e tudo que refere-se à reflexão e à refração é explicado principalmente por esse meio. ..." (veja Fig.7, Apêndice II) (Huy-TL, pag. 22).

Segundo Huygens, a explicação da propagação retilinea da luz estava contida neste principio, por exemplo, se nós imaginassemos HB e GI sendo corpos opacos, BG seria uma abertura, então as ondas passariam por ela sem divergirem de seu caminho retilineo: " Daqui se vê a razão

pela qual a luz não se espalha senão por linha reta - a menos que seus raios sejam refletidos ou rompidos - de modo que ela não ilumina um objeto a não ser quando o caminho desde sua fonte até o objeto esteja aberto segundo tal linha. Caso, por exemplo, houver uma abertura BG, limitada por corpos BH, GI, a onda de luz que sai do ponto A terminará sempre pelas retas AC, AE, como acabamos de demonstrar. As partes das ondas particulares que se propagam fora do espaço ACE são fracas demais para aí produzir luz" (veja Fig.7, Apêndice II) (Huy-TL, pag. 23).

Segundo Shapiro (Sha-KO, pag. 227), o que é importante notar não são os erros contidos no "Principio de Huygens", mesmo por que nós não nos demos o trabalho de demonstrá-los, mas ressaltar que mesmo com as limitações do "principio" a aproximação cinemática da ótica de Huygens influenciou a ótica do século seguinte mesmo que somente no que se refere ao conceito e método de construção de frentes de ondas.

Huygens e Descartes

Christian Huygens nasceu em Haia no ano de 1626 em uma proeminente familia holandeza e passou toda sua vida nos Paises Baixos, exceto por quinze anos, dos quais passou a maior parte em Paris como membro da Académie des Scienses.

Em 1628 Descartes mudou-se para os Paises Baixos para distanciar-se do serviço militar e lá permaneceu até 1649 quando mudou-se para Suécia morrendo no ano seguinte.

Huygens conheceu e estudou profundamente a obra de Descartes e ao introduzir-se na sociedade cientifica e no

processo de produção do conhecimento teve em Descartes seu grande mestre. Sabra aponta que sob alguns aspectos Huygens parece ser mais cartesiano que o próprio Descartes.

Na sua ótica, Huygens adota a visão cartesiana na qual as explicações físicas devem ser dadas em termos de propriedades como: magnitude, formas e movimentos. De forma que na explicação de fenômenos como por exemplo a gravidade, já que não estavam envolvidas as magnitudes e formas de corpúsculos, então estava envolvida unicamente a propriedade do movimento (Sa-TLDN, pag. 162).

Huygens e Newton

A inflexível visão cartesiana de Huygens muitas vezes o levou a entrar em discussão com Newton, como no caso da Teoria das Cores da qual falaremos em outra oprtunidade. Neste caso, Huygens aceita a descoberta de Newton, publicada em 1672, que os raios de luz não eram igualmente refratados por um mesmo meio, mas por outro lado considerava que a questão das cores era uma daquelas que ninguém poderia gabar-se de ter obtido sucesso na sua explicação até 1690.

Segundo Sabra (Sa-TLDN, pag. 164), Huygens não apresenta nenhuma razão no Traité para opor-se à teoria das cores de Newton. Considera que a principal objeção de Huygens, de 1672 até a data de publicação do Traité 1690, residia no fato que Newton não explicou por meio da mecânica o que consistia a diversidade das cores. Notamos aí, um ponto de forte contradição entre Huygens e Newton, já que Newton defendia que sua teoria das cores não precisava de nenhuma explicação mecânica ou de outra qualquer já que

estava totalmente sustentada pelo experimento, não justificando o uso de idéias pré-concebidas, hipóteses mecânicas.

Assim Huygens declara no Traité que seu intuito era explicar as propriedades da luz "em concordância com os principios aceitos na filosofia do presente dia" (Huy-TL, pag. 2). Filosofia que descreveu como: "A verdadeira filosofia na qual concebe-se as causas de todo efeito natural em termos de movimento mecânico. Isto, em minha opinião, nós devemos necessariamente fazer, ou abandonar todas as esperanças de qualquer compreensão de alguma coisa em fisica." (Huy-TL, pag. 3).

II.4 - BARROW E MORE: SUAS INFLUENCIAS SOBRE NEWTON

Isaac Barrow (1630-77) além de amigo de Newton foi seu instrutor de matemática. Entrou em Cambridge em 1645, estudou medicina, anatomia, botânica e química e depois matemática. Em 1649 tornou-se membro do Trinity College e foi professor de grego até 1654 quando perdeu o cargo. Em 1660 volta à cátedra de grego, mantendo-se também até 62 como professor de geometria, ano em que se torna membro da Royal Society. Em 1663 abre mão de suas ocupações para tornar-se Professor Lucassiano de Matemática em Cambridge onde será professor de matemática de Newton. Em 1669 deixa a cadeira lucassiana de matemática em favor de Newton e volta-se para a teologia e pregação, morrendo em 1677. Dobbs em seu Foundations of Newton's Alchemy salienta ainda que Barrow de 1664 a 1669 dá a Newton uma firme formação em experimentação, indução e matemática, desde que, para ele, a "filosofia hermética oferecia uma metodologia melhor que a dedução de Descartes, por causa da natureza experimental". Além disso, "Barrow talvez pensasse que os espiritos sutis encontrados pelos filósofos herméticos em seus experimentos, poderiam ser usados para modificar o mecanicismo cartesiano na direção exata e correta dando à matéria morta exatamente aquilo que era requerido para direcionar seus movimentos" (Dob-FNA, pag. 102).

Henry More, por sua vez, era um sincretista que juntava Platão e Aristóteles, Demócrito e a cabala e os

estoicos. A partir de 1648 More iniciou uma intensa correspondência com Descartes, tentando persuadi-lo em algumas posições. More via defeitos no mecanicismo cartesiano e tinha um certo temor de que a idéia da filosofia cartesiana, a completa separação entre matéria e espirito, pudesse conduzir ao ateismo. Mesmo assim foi complacente com muitos aspectos do cartesianismo não refutando muitas idéias, mas apenas modificando-as. Uma idéia muito relevante de More é que o espirito desempenha importânte papel na interpretação dos processos naturais que não podem serem explicados ou demonstrados através somente de leis mecânicas. Entidade desse tipo seria por exemplo a luz que "embora sendo imaterial e incorpórea age sobre a matéria e sofre os efeitos dela. A luz tem o poder de penetrar alguns corpos e ser penetrada por eles. No caso dos corpos transparentes, matéria e luz podem coexistir no mesmo lugar" (Ko-MFUF, pag.100 a 130).

Assim "nos trabalhos de More, Newton pode ter encontrado numerosas criticas à fisica de impactos de Descartes, bem como a aceitação básica cartesiana de que o espirito está ausente das operações do universo. As duas idéias estavam unidas na mente de More, ele mostrou que o mecanismo de Descartes era inadequado para os efeitos naturais atribuidos a ele. O movimento não poderia ser explicado completamente pelas ações mecânicas. More ofereceu o espirito universal, ou alma do mundo para compensar as inadequações do mecanismo, e para direcionar os movimentos mecânicos naturais" (Dob-FNA, pag. 103). Isto é, Newton deve

ter encontrado no pensamento de More criticas a um mecanismo tomado como uma visão de que é o movimento inicial perfeito, no momento de criação, que vai promover todos os outros fenômenos.

Assim a sugestão de Barrow e More de modificação do mecanismo cartesiano, nas relações matéria-espirito, é vista como preocupação presente no pensamento de Newton. Além disso é visto a influência destes nas idéias newtonianas no que diz respeito à ação de Deus no mundo que difere da filosofia mecânica, e com respeito à existência de atividade nas coisas vivas. Segundo Mc Mullin, aos principios passivos da matéria, os neo-platônicos como More adicionavam todos os tipos de principios ativos sem os quais "a animação e o intento não poderiam aparecer" (McMul-MA, pag. 43).

CAPITULO III

A CONSTRUÇAO DA ÓTICA DE NEWTON

III.1 - A QUESTAO DAS CORES DA LUZ BRANCA

"Cores podem ser produzidas por Composição que se parecerá com as Cores homogeneas da Luz quanto a Aparência das Cores, mas não quanto a Imutabilidade das Cores e a Constituição da Luz. E estas Cores quanto mais elas são compostas tanto mais elas são menos inteiras e intensas, e também por mais Composições elas podem ser diluídas e enfraquecidas, e a Mistura torna-se branca ou verde. Estas Cores podem também serem produzidas por Composição, as quais não são completamente como uma das Cores da Luz homogenea." (Opticks, Prop. IV, theor. III, pag. 132)

A explicação da heterogeneidade da luz branca, ponto fundamental da teoria das cores de Newton, foi fator de grande avanço da ótica na direção da ótica fisica, já que até Newton a "natureza simples da luz branca sempre tinha sido aceita como axiomática" (Hall-RC, pag. 372). Este avanço se deu não só em termos do esclarecimento de tal "propriedade da luz", mas muito mais pela conquista em termos do universo teórico-experimental e metodológico no qual sua pesquisa estava inserida. Segundo Rupert Hall, Newton efetuou na ótica a maior investigação experimental de toda a ciência física do século XVII, criando "padrões completamente novos de métodos cientificos tantos referentes

à exatidão e pormenor de uma investigação como a proximidade das relações entre a experiência e a teoria" (Grifo nosso, Hall-RC, pag. 369).

Dessas conquistas podemos destacar a síntese que Newton faz, na ótica, da reelaboração de idéias e práticas de seus predecessores, juntamente com um exercício contínuo e rigoroso de discussão com seus contemporâneos, opositores ou não, como no caso da controvérsia com Hooke com relação à heterogeneidade da luz branca. É também fator de conquista com relação às cores, a descoberta e experimentação precisa de fenômenos, e ainda, o encaminhamento de novas questões que levassem a ulteriores pesquisas na ótica.

Apesar de toda a relevância da obra de Newton com respeito às cores, que, segundo Shapiro, parece ter sido o primeiro interesse de Newton, não se pode esquecer que esta está situada em um momento histórico, e que a questão das cores já vinham sendo alvo de grande interesse em vários outros trabalhos desde os séculos XIII e XIV. Com respeito às questões das cores nesta época devemos lembrar que elas estavam diretamente ligadas ao estudo do arco-iris, já que a luz era tida como de natureza pura.

Para o arco-iris, várias explicações foram dadas até que em 1304 o dominicano Teorico de Freiberg rejeitou a hipótese aristotélica a qual colocava o arco-iris como resultado de uma reflexão coletiva dos raios de luz pelas gotas de água das nuvens. Teodorico sugeriu que cada gota de água era capaz de agir independentemente produzindo o arco-iris. Além disso foi capaz de traçar o caminho seguido pelo

raio de luz ao formar o arco. Considerou que este era resultado de uma reflexão interna dos raios no interior da gota que ao ser refratado para fora formava o primeiro arco; para o segundo considerou que este se formava depois de duas reflexões internas. Para isto, Teodorico fez experiências com bolas de cristal cheias de água.

Descartes independentemente de Teodorico chegou à mesma explicação para o arco-iris, só que este foi o primeiro a afirmar que as cores eram devidas à refração e não à reflexão.

Com as mudanças ocorridas na ciência nos séculos XVI e XVII, a ótica também recebeu novos impulsos, e a questão das cores passou a ser ponto de grande discussão. Apesar da importância da obra de Descartes e de sua explicitação da lei da refração e das contribuições de Grimaldi com suas experiências utilizando prismas. A discussão sobre o assunto, no séc. XVII, ficou praticamente centrada em Hooke e Newton, já que Huygens não tratou do assunto.

III.2 - O DESENVOLVIMENTO DE SUA TEORIA DAS CORES

Apesar de Newton só ter apresentado sua teoria das cores à Royal Society em 1672, o início de seus estudos com as cores datam de 1666. De acordo com sua teoria a luz branca era considerada como uma mistura heterogênea de diferentes raios "refrangíveis" de luz, cujos "graus de refrangibilidade" corresponderiam a cores particulares, uma a uma. Este "grau de refrangibilidade" e a cor eram propriedades inatas e imutáveis de um dado raio. Estes pontos fundamentais de sua teoria foram sustentados até o Opticks onde os apresenta em forma de proposições assentadas em experimentos.

Esta nova teoria contrastava com todas as outras anteriores e contemporâneas nas quais as cores eram tratadas como resultado de uma luz branca pura, homogênea e mutável, ou da combinação da luz e dos tons.

De acordo com Westfall (West-DNTC, pag. 348), Newton já apresenta no Quaestiones Quaedam Philosophiae, seu caderno de estudante de meados de 1660, pontos de sua teoria da luz, apesar de que ainda pode-se verificar algumas confusões e autocontradições. Estes pontos não foram apresentados em ordem predeterminada, e apareciam algumas vezes através de observações feitas a interlocutores como Descartes e Boyle. E da análise do Quaestiones pode-se assumir que Newton era bastante familiar com outros autores sobre ótica, como Hooke e Charleton.

Certamente estes não foram os únicos a trabalharem com a teoria das cores nesta época, e provavelmente Newton tinha conhecimento de outras idéias.

Falaremos das teorias da luz de Charleton, Descartes e Hooke.

A teoria de Charleton (He-NTC, pag. 231), que parece ter sido a primeira encontrada por Newton, foi a única a incluir a própria teoria de Newton sobre os corpúsculos e o vazio. Charleton tratou inicialmente a luz como corpuscular e as cores como combinação de uma disposição desses corpúsculos de luz. Depois, estas emanações de corpúsculos foram discretamente descartadas por ele, e esta idéia deu lugar a uma simples mistura de luz e tons.

Descartes desenvolve analogias para tratar as questões da luz e das cores (West-DNTC, pag 340). Em uma delas, a luz era considerada como sendo de natureza corpuscular, e os corpúsculos moviam-se através do espaço. Considerava as cores como sendo ligadas ao "spin" das bolas (globoli) que, segundo Descartes, pertenciam ao segundo grupo de elementos que preenchia os céus, junto aos elementos do primeiro grupo. A luz branca era associada com o "spin" igual à tendência ou pressão de movimento para adiante. O vermelho era associado com o maior "spin", já o azul era associado ao menor "spin". Em outra analogia a luz era considerada como uma pressão transmitida instanteneamente através da matéria.

A teoria de Hooke (West-DNTC, pag. 347), publicada em 1665 na sua Micrografia, tratava a luz como uma forma de onda e as cores como uma modificação dessa onda. O azul por exemplo consistia da "parte mais fraca" da onda, precedendo a "parte mais forte" que era o vermelho.

Nas primeiras observações sobre as cores (He-NTC, pag. 233), apresentadas no Queastiones, Newton parece ter iniciado virtualmente sem muitas preocupações, parecendo tentar aproximar-se do problema procurando um fenômeno pelo qual as cores pudessem estar ligadas apenas a alguma propriedade mecânica da luz. Nestas primeiras idéias Newton distingue duas possiveis causas para a luminosidade e para a escuridão. No caso os raios que forem refletidos com maior força ou maior velocidade produziriam a sensação da luminosidade. Força parece ser, neste caso, momento linear, já que usou estes termos de forma confusa. No segundo caso, Newton associa ao corpo de luz um corpo "branco" sugerindo inicialmente a dissociação da brancura em cores, apesar de ter tratado a brancura como propriedade da luz refletida.

Nesta mesma época das experiências anotadas no seu "caderno de estudante de quimica", a natureza heterogênea das cores era um resultado claro. E de outras experiências com prismas a heterogeneidade da luz branca e os diferentes graus de refrangibilidade dos raios de luz passam a ser resultados e não especulação ou hipóteses.

Newton passa por algumas suposições no Queastiones, tentando explicar estas informações experimentais, como por

exemplo tentar associar cores com velocidades, mostrando a influência da lei de Descartes da refração.

Na verdade, como salienta Shapiro (Sha-ESNT, pag. 211) a importância do Queastiones não é a apresentação de uma "teoria" mesmo porque ele não a contem, mas sim porque ele nos ajuda a entender como as primeiras descobertas de Newton foram ocorrendo.

A primeira tentativa de Newton de formular sua teoria da luz e das cores foi nas suas Optical Lectures, entregues à Universidade de Cambridge entre 1670 e 1672 como seu inaugural conjunto de conferências como Professor Lucassiano de Matemática. Sua importância fundamental está no fato de que pela primeira vez Newton demonstra livremente suas idéias sobre a luz e as cores sem pressão para responder criticas especificas.

Antes das Optical Lectures Newton já havia introduzido a célebre idéia da heterogeneidade da luz branca, que foi especificamente provada no seu New Theory about Light and Coulors de 1672 pelo conhecido "experimentum crucis" (ver adiante neste subtitulo). Mas mesmo nas próprias Optical Lectures Newton já apresenta prova experimental da natureza composta da luz branca. Curiosamente, os experimentos para tal prova, apresentados na época das Lectures, não estavam baseados na refração como no "experimentum crucis", mas na reflexão total de raios de luz (Sa-ESNT, pag. 216).

Já era suficientemente sabido que quando a luz branca incidia sobre a superficie de separação de dois

meios, uma parte dela era geralmente refletida e outra refratada; era também sabido que quando ela passava de um meio denso para um menos denso (como do vidro para o ar) ocorria o mesmo fato até que se alcançasse um certo ângulo de incidência a partir do qual só ocorria a reflexão, i. é, a partir de um ângulo critico a luz era totalmente refletida e nenhuma parte dela era refratada. E Newton usou esse mesmo conhecimento para dedução de sua teoria.

Desde que já sabia que o ângulo critico dependia do índice de refração do meio, e desde que tinha descoberto que no mesmo meio esta quantidade diferia para cada raio de uma cor especifica, então o ângulo critico deveria variar para cada cor, o que na verdade é observado.

O experimento base, da série de vários outros com variações no mesmo tema, é mostrado na figura (veja Fig.4, Apêndice II) no qual uma emissão da luz do sol é admitida no interior de uma sala através de um buraco em F e cai no prisma ABC, e enquanto alguns raios são refratados para T, outros são refletidos para P. Ao girar este prisma ABC, Newton observou que as cores em P começavam a desaparecer a partir do violeta, passando pelo azul, verde e o amarelo até finalmente desaparecer o vermelho. Observou também que ao mesmo tempo que gradualmente elas desapareciam em T, elas eram vistas em P e vice versa, exibindo as mesmas cores quando refletidas em P ou refratadas em T.

Na sessão seguinte das <u>Lectures</u>, Newton analiza cuidadosamente estes experimentos e argumenta: "entretanto eles (raios) possuem precisamente suas próprias cores, e

eles preservam as mesmas cores quando são refratados ou refletidos, posto que em geral elas são latentes, ocultas na mistura até que elas são arrancadas (mas não, no entanto, feitas) pelo poder dos prismas" (citado por Sha-ESTN, pag. 17; Optical Lectures, pag. 50).

Assim, além de estabelecer que a luz refletida também era composta, eliminou a suspeita que as cores eram formadas no processo de refração sofrido ao entrar e sair de um prisma.

Além desse, outros experimentos foram feitos e colocados por ele no Opticks editado trinta anos depois. Experimentos que são na realidade variações do "experimentum crucis", só que utilizando das análises com respeito à refração e também reflexão dos raios de luz. Segundo Shapiro (Sha-ESTN, pag. 220), Newton chegou nas Lectures a duas conclusões de importância significativa: as modificações da luz geradas na refração, como eram em geral afirmadas pelas teorias das cores, deveriam ser refutadas; e em segundo lugar a luz branca, tanto a refletida quanto a refratada, era de natureza composta.

No New Theory apresentado dois anos depois das Optical Lectures, a prioridade para as questões das cores é um pouco diferente. Nas Lectures Newton preocupou-se mais com a composição da luz branca e com as diferentes refrangibilidades. No New Theory, Newton preocupa-se mais com as próprias cores, e não meramente com componentes da luz branca.

Nas primeiras três proposições do New Theory Newton afirma que diferentes graus de refrangibilidade e cores são inatas e imutáveis aos raios de luz e que existia uma correspondência direta entre cores e graus de refrangibilidade.

Uma conclusão de Newton apresentada no New Theory indicava que podiam existir dois tipos de cores: as originais ou simples e as compostas por elas, como por exemplo da mistura do amarelo e do azul consegue-se o verde, foi pouco depois reconhecida pelo próprio Newton como inadequada. E por isso foi reformulada em uma carta a Hooke em junho de 1672: "... cor é primária ou original quando não pode por alguma arte ser mudada, e seus raios são todos semelhantemente refrangíveis; é composta quando é transformável uma em outra cor e seus raios não são semelhantemente refrangíveis" (citado por Sha-ESNT, pag. 222).

Dessa conclusão surgiram discussões com Hooke e fortes críticas de Huygens que na realidade estimularam uma clareza e precisão maior das idéias de Newton, já que este não se afastou dessas conclusões. Como exemplo desta situação está uma de suas cartas escritas a Huygens (Sha-ESNT, pag. 225), onde ele reformula sua teoria da luz e das cores já desenvolvida em uma de suas cartas a Hooke com respeito à distinção entre cores simples e compostas, introduzindo quatro novas definições:

1- eu chamo luz homogênea, similar ou uniforme aquela cujos raios são igualmente refrangíveis;

2- e as heterogêneas aquelas cujos raios não são semelhantemente refrangiveis;

3- aquelas cores que eu chamo de simples ou homogênea são as exibidas pela luz homogênea;

4- e as compostas ou heterogêneas aquelas exibidas pela luz heterogênea.

Newton reconhece algumas dificuldades em sua teoria, como por exemplo que a luz branca era uma mistura. Como podemos ver em uma passagem de suas cartas mandadas a Oldenburg: "...Esta eu acredito ser a mais paradoxal de todas as minhas asserções, recebida como o maior e universal preconceito. Mas para mim ela parece tanto uma verdade infalivel e positiva quanto ela pode parecer extravagante para outros. Até agora eu nunca tentei muitas maneiras de misturar todas as cores pelas quais eu não poderia em nenhum grau produzir brancura, e ainda eu tenho feito tantas tentativas quanto eu poderia pensar para misturar as cores ..." (citado por Sha-ESNT, pag. 228; CORRESP. I, pag. 389).

A Teoria

No Opticks Newton conserva estes pontos fundamentais de sua teoria da luz: a heterogeneidade da luz branca; a independencia , entre os raios de luz, i. é, um raio não age sobre outro; os graus de refrangibilidade correspondendo a cores; e a imutabilidade dos raios de luz.

Quanto à heterogeneidade da luz branca Newton apresenta, entre outras, a seguinte proposição: "A Luz do

Sol consiste de Raios diferentemente refrangiveis" (Opticks, Prop. II, Theor. II, pag. 26), para o qual apresenta oito experimentos como prova, incluindo o "experimentum crucis".

Quanto aos graus de refrangibilidade correspondendo a cores, identificamos as seguintes proposições: "A Luz que difere em Cor, difere também em Grau de refrangibilidade" (Opticks, Prop. I, Theor. I, pag. 20). Falando ainda nesta correspondência Newton introduz outro ponto fundamental de sua teoria que é a imutabilidade dos raios de luz: "toda Luz homogenea tem sua própria Cor respondendo a seu Grau de refrangibilidade, e esta Cor não pode ser mudada pela reflexão e refração" (Opticks, Prop. II, Theor. II, pag. 122). E por refrangibilidade Newton entendia: "Refrangibilidade dos Raios de Luz é a Disposição (Disposition) de ser refratada ou virada no seu caminho na passagem de um Corpo transparente para outro. E a maior ou a menor Refrangibilidade do Raio é sua Disposição de ser mais ou menos virado no seu caminho na Incidência em mesmo Meio" (Opticks, Def. II, pag. 2).

Quanto á imutabilidade dos raios, Newton apresenta tal fundamento em algumas proposições. Para a proposição que identificamos ele apresenta quatro experimentos como prova: "o Fenômeno das Cores na Luz refratada ou refletida não é causado por Modificações da Luz variavelmente impressas, de acordo com as várias Terminações da Luz e da Sombra" (Opticks, Prop. I, Theor. I, pag. 113).

A experimentação e o "Experimentum Crucis"

Newton, durante seus estudos sobre a composição da luz branca, fez várias experiências utilizando prismas e lentes que foram sendo aprefeiçoadas e que no Opticks podemos reconhecer como verdadeiros espectrômetros. Uma das principais é o "Experimentum Crucis" (Opticks, Exp. 6, pag. 45): A luz do sol emerge de um prisma (ABC) fortemente iluminado e passa através de uma pequena abertura (G) em um primeiro anteparo (DE). Num segundo anteparo (de) a luz passa por uma abertura ainda menor (g) indo então passar por um segundo prisma (abc) colocado atrás deste anteparo (veja Fig.1 , Apêndice). Se o primeiro prisma é levemente girado, cores diferentees podem ser vistas atingindo sucessivamente o segundo prisma fixo em relação às duas aberturas; do menos refratado, o vermelho, até o mais refratado, o violeta.

Como o experimento para Newton não era uma montagem idealizada somente como observação de um acontecimento, mas sim uma maneira de aproximação com precisão entre o pensamento do observador e o fenômeno observado, realizou tal experimento de várias formas. Estas formas foram melhorando o método de obtenção de luz monocromática e consequentemente mostrando e descobrindo pontos fundamentais da sua teoria: Que a luz era composta de diferentes cores (Opticks, Prop. I, Theor. I, pag. 20); de raios diferentemente refratáveis, i. é, com graus de "refrangibilidade" diferentes (Opticks, Prop. II, Theor. II, pag. 26).

Para se conseguir um prisma refletor Newton utilizou uma combinação de dois prismas de ângulo reto (veja Fig.2 , Apêndice). Parte da luz incidente era refratada na face hipotenuza, que embora passando obliquamente através do filme de ar entre os dois prismas, assumia a direção original depois de alcançar o segundo prisma do arranjo. A outra parte era refletida ao encontrar a superfície de separação do vidro para o filme de ar. Com o aumento do ângulo de incidência, ocasionado pela rotação do par de prismas no sentido ACDB, o raio refratado tornava-se colorido do amarelo para o vermelho e finalmente desaparecia completamente. Observou ainda que se cada um dos raios refletidos e refratados passassem através de um outro prisma, os dois espectros complementares, mais uma vez, poderiam ser observados. As cores que eram cortadas na sua sucessão do espectro da luz refratada, aparecia reforçado no espectro da luz refletida. (Opticks, Exp. 10, pag. 57 a 61)

E é no Opticks onde Newton apresenta a sua teoria na forma mais madura e onde ele propos "explicar as propriedades da luz, não por hipóteses, mas por razão e experimento" que algumas das questões foram resolvidas dentro do quadro geral da filosofia experimental e outros foram sugeridas como caminhos de "ulteriores" pesquisas.

Com respeito a teoria das cores é ainda relevante apontarmos uma proposição apresentada no Opticks que demonstra a evolução de suas idéias: "Na mistura de cores primárias, a quantidade e a qualidade de cada uma sendo

dada, saber-se-á a cor do composto" (Opticks, prop. VI, prob. II, pag. 154).

Segundo Shapiro esta regra de mistura das cores, que no século XIX serviu como fundamento para os trabalhos de Graasmann, Maxwell, Helmholtz no estabelecimento da teoria tricromática da visão colorida, é resultado de sua firme defesa da composição mista da luz branca, utilizando das várias criticas, como as de Huygens, como contribuição para a sua ótica.

A regra é relativamente simples (veja Fig.5, ApêndiceII). Divide-se o circulo em uma particular proporção harmônica especifica, e cada arco representará uma das sete cores. No centro de gravidade de cada arco marca-se um pequeno circulo proporcional à quantidade e ao tipo de raio da mistura considerada. Então o centro de gravidade Z de todas os pequenos circulos representará a mistura resultante.

Considerando que Newton tinha explicitamente, e não decisivamente, excluido a possibilidade da composição branca por somente duas cores, seu diagrama e método de obtenção de luz branca implica que ela poderia ser obtida a partir da mistura de duas e três cores. Isto mostra claramente que apesar da maturidade da sua teoria das cores, o próprio Opticks trazia no seu corpo as tensões e os questionamentos inerentes à evolução de um conhecimento, vividos na época dos estudos de Newton e da realização do texto do Opticks.

III.3 - DAS IDEIAS DE NEWTON SOBRE AS CORES OBTIDAS EM FILMES FINOS

Segundo A. I. Sabra em seu Theories of light from Descartes to Newton, o interesse de Newton pelas cores obtidas em filmes finos data de periodo anterior a 1672. Sabra basea-se em referências a este fenômeno feitas por Newton nas suas respostas às considerações de Hooke as quais foram escritas neste ano. Mas só em 1675, nos seus pronunciamentos à Royal Society, Newton deixa público seu interesse pelo assunto.

Newton não é considerado como o primeiro a se deter no problema das cores em peliculas finas. Grimaldi (1613-1663) já fazera experimentos cuidadosos com prismas e foi o primeiro a descobrir este fenômeno o qual observou com muita precisão e "cujos detalhes essenciais foram reportados com tanta fidelidade que o assunto não poderia ficar por muito tempo na obscuridade" (Mach-PPO, pag. 133).

Hooke também, em sua Micrografia publicada em 1665, tratou das cores obtidas em filmes finos além de outros assuntos correlatos. Seus experimentos com cores em filme finos eram "instrutivos e suas explicações, de inicio, absurdas" (Sa-TLDN, pag. 328). Alguns dos experimentos de Hooke foram repetidos por Newton e os problemas que tinha deixado por resolver tornaram-se, algumas vezes, ponto de partida para as investigações de Newton.

Apontamos assim que Newton conhecia as experiências realizadas por Grimaldi e Hooke com respeito à difração, mas devemos destacar que estas não tinham a precisão e completeza com a quais Newton as apresentou.

No experimento base dessa investigação, expresso no Opticks como uma série de 24 observações, Newton colocou juntas uma objetiva telescópica bi-convexa e outra plano-convexa sendo que o plano ficava para cima na montagem. A espessura da camada de ar entre as lentes aumentava do centro para fora. Pressionando as lentes o sistema de franjas coloridas observadas apareciam concêntricas ao ponto de contato das lentes. O ponto central aparecia escuro quando o contato com as duas lentes era efetivo. Com este aumento efetivo de contato, as franjas desenvolviam no centro e "moviam-se" para fora, enquanto que diminuindo a pressão elas "moviam-se" de volta desaparecendo no centro, notando então uma intima correspondência entre a espessura do gap de ar e as cores. (Opticks, Livro II, Parte I, pag. 193 a 224)

Newton trabalhou com a luz monocromática o que facilitou a obtenção das medidas das franjas brilhantes e escuras, notando que as mais largas eram devidas à luz vermelha e as menores eram devidas à luz violeta e as outras que ocupavam lugares intermediários apareciam de acordo com sua ordem no espectro (Observação 14). Além disso observou que o aparecimento das franjas com luz branca provavam ser devidas a uma superposição de inúmeras franjas

monocromáticas provindas de raios diferentemente refrangíveis (Observação 12).

Newton observou também que o sistema de franjas visto por reflexão era complementar ao sistema de franjas visto por transmissão, i. é, as franjas escuras obtidas por reflexão apareciam brilhantes por transmissão e vice-versa, de tal forma que os dois juntos produziam uma iluminação uniforme (Observação).

De acordo com Sabra , um dos problemas encontrados por Hooke nos estudos de sua Micrografia foi a determinação da espessura necessária do filme na produção de uma determinada cor. Apesar de Hooke ter "atribuído seu fracasso às imperfeições de seu microscópio, Newton não teve oportunidade de usar um melhor" (Sa-TLDN, pag. 332). Newton entretanto solucionou o problema, como vimos, usando uma combinação de lentes e luz monocromática, o que permitiu maior precisão nas conclusões.

Além das observações citadas acima, feitas por Newton em seu experimento com lentes convexas, alguns dados e conclusões ainda foram cuidadosamente determinadas por ele.

Olhando o sistema de franjas da reflexão perpendicularmente, ou quase perpendicularmente, ele mediu seus diâmetros com um par de compassos. Ele achou que enquanto o quadrado dos diâmetros das franjas escuras estavam numa progressão aritmética dos números 0, 2, 4 etc, o 0 sendo o ponto central, os quadrados dos diâmetros das franjas brilhantes estavam numa progressão de números

impares 1, 3, 5, 7 etc (Observação 5). Disto ele calcula a espessura da camada de ar, o filme, correspondente às franjas escuras e às franjas brilhantes das diferentes cores.

Outras observações foram feitas, como por exemplo que o aparecimento das franjas e o grau de convexidade das lentes são independentes ((Opticks, Obs. 6, pag. 200 a 202). As franjas também aparecem na mesma ordem independentemente do material utilizado para o filme, que pode ser água ou ar ou óleo (Observação). Conclui também que o aparecimento das franjas dependia da distância entre as superficies do filme ou seja sua espessura (Opticks, pag. 279).

Apesar de que as investigações experimentais com respeito a este fenômeno, levaram-no a determinar algumas leis experimentais, como no caso da espessura do filme de ar expressada em função do ângulo de incidência e refração da luz, como se apresenta na Observação 7, Book II, part I do Opticks, não era só esse o propósito de seu trabalho. Busca alguma Lei geral.

Os "Fits"

Para explicar esse fenômeno, Newton apresenta sua teoria dos "Fits". Definição:

"Os Retornos da Disposição (Returns of the Disposition) de qualquer Raio de ser refletido Eu chamarei de "Fits de fácil Reflexão", e aqueles de sua Disposição de ser transmitido seus "Fits de fácil Transmissão", e o Espaço

que o Raio atravessa entre cada Retorno e o próximo o "Intervalo de seus Fits"." (Opticks, pag. 281)

Isto quer dizer que Newton chama a possibilidade de retorno a um estado o qual coloca o raio para ser refletido, de "fit" de fácil reflexão, e aqueles que colocam-no para ser refratado de "fit" de fácil transmissão. O intervalo dos "fits" é o espaço que o raio atravessa entre dois "fits" consecutivos e similares.

Tentando analisar o que acontece nos filmes finos sob a luz de tal teoria, quando no experimento citado anteriormente o sistema de franjas é observado, Newton explica: Supondo que um raio de uma certa cor incidente no filme de ar é transmitido pela primeira face do mesmo filme, este raio estará, depois de um intervalo inteiro, em "fit" de fácil transmissão. Se a espessura do filme for igual ao intervalo de "fits", o raio será transmitido pela segunda face do mesmo. O mesmo acontecerá onde a espessura for 2,3,4 vezes um intervalo inteiro. Isto, segundo Newton, explica as franjas escuras na reflexão; ela aparecem escuras onde a luz foi totalmente transmitida pela segunda face.

Mas se por outro lado os raios encontrarem a segunda face a meio caminho, então estando em "fit" de fácil reflexão, eles serão refletidos de volta à primeira face, chegando lá em "fit" de transmissão, sendo transmitidos formarão as franjas brilhantes por reflexão. O mesmo acontecerá onde as espessuras forem 2, 3, 4 vezes a metade do caminho. Isto explica as franjas brilhantes que são

refletidas na segunda face do filme. (Opticks, Obs. 5, 6 e 7, pag. 200 a 205)

A reflexão de luz na primeira face, segundo Newton, não influenciava a produção das franjas. Esta reflexão entra como parte do problema da reflexão parcial em corpos transparentes finos ou grossos: "A razão porque as superfícies de todo corpo transparente refletem parte da luz incidente neles e refrata o resto é que alguns raios em sua incidência estão em "fit" de fácil transmissão e outros em "fit" de fácil reflexão." (Opticks, Prop XIII, pag. 281)

Newton ilustra com um esquema o que acontece no filme de faces AB e CD (veja Fig.3 , Apêndice II).

Para Newton os "fits" estão provavelmente ligadas aos raios desde sua origem: "E portanto a luz está em fits de fácil reflexão e fácil transmissão, antes de sua incidência nos corpos transparentes. E provavelmente ela é colocada em tais fits na primeira emissão dos corpos luminosos, e continua neles durante todo o seu progresso" (Opticks, pag. 282).

Além disso, para Newton, sua teoria não era uma hipótese já que não afirmava que tipo de disposição ou ação poderiam ser os "fits". E portanto, para Newton, os "fits" sifnificavam uma importante descoberta: "Que tipo de disposição (disposition) é esta, se consiste em movimento circular ou vibratório do raio, ou do meio, ou alguma coisa assim; eu não investigo aqui; ... " (Opticks, pag. 280).

De acordo com Newton qualquer tentativa de explicar os "fits", i. é, de buscar suas causas e sua

natureza constituiria uma hipótese, já que não existia nenhum experimento que desse subsídios para isso: "...Aqueles que são avessos em aceitar qualquer nova Descoberta, mas somente quando eles podem explicar por uma Hipótese, podem por enquanto supor que, como as pedras caindo sobre as águas provocam nela movimento vibratório, todos os corpos por percussão excitam vibrações no ar, ...então os raios de luz, por impressão em uma superfície, excitam vibrações no meio ou substância refratora ou refletora... e que quando um raio está na parte da vibração que sintoniza com seu movimento, ele facilmente rompe a superfície refratora, mas quando ele está na parte contraria da vibração que impede seu movimento ele é facilmente refletido; e por consequência, que todo raio é sucessivamente disposto a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido, por qualquer vibração que o ultrapasse. Eu não considero aqui se esta hipótese é verdadeira ou falsa. Eu me contento com a simples descoberta, que os raios de luz são por uma causa ou outra alternadamente dispostos a serem refletidos ou transmitidos por muitas vicissitudes." (Optikcs, pag. 280)

Pode parecer pouco claro quando Newton supõe que os raios são colocados em "fits" pelas vibrações do éter excitadas em meio refletor ou refrator, já que anteriormente ele afirmava que os "fits" já estavam com os raios desde sua origem. Na Questão 18 (Opticks, pag. 348), Newton tenta sintetizar estas duas idéias. Ele sugere um meio "extremamente mais rarefeito e sutil que o ar, e

extremamente mais elástico e ativo", que pode ser responsável por colocar os raios em "fits" de fácil reflexão e fácil transmissão. Desde que o meio éter é suposta expandir "através de todos os céus", o raio excitará vibrações nele, éter, na sua emissão do corpo luminoso, e serão colocados em "fits" antes (grifo nosso) de encontrarem algum meio refletor ou refrator. Newton quer dizer que a natureza do raio não se modifica, i. é, suas propriedades intrínsecas (partículas) e suas formas de interação não se modificam na reflexão e na refração. Ao contrário a reflexão e a refração já são possibilidades de acontecimento sob certa condição.

A princípio poderíamos achar que esta interação entre as partículas de luz e o éter seria mecânica no sentido de ser necessário contato entre as partículas que os compunham para haver mudança de movimento. Na Qu. 29 Newton propõe outro tipo de interpretação para esta interação, não em termos de ação mecânica mas de um "poder atrativo ou outra força qualquer": "Nada mais se requer para colocar os raios em fits de fácil transmissão e fácil reflexão, do que eles sejam corpos pequenos que por seus poderes atrativos ou alguma outra força excitam vibrações naquilo que eles agem, cujas vibrações sendo mais rápidas, ultrapassa-os sucessivamente e agita-os de forma a, em voltas, aumentar e diminuir suas velocidades, e deste modo colocá-los nesses fits" (Opticks, pag. 372-3).

Esse pensamento de Newton certamente foi muito difícil de ser compreendido com os elementos de conhecimento

de sua época. Parece-nos que duas coisas são certas: Newton descreveu uma natureza de variação periódica de propagação da luz. Segundo, rejeitou a natureza ondulatória para a luz em forma de ondas mecânicas de pressão e rarefação.

Do nosso ponto de vista, esta tentativa de conciliar a concepção corpuscular da luz com esta periodicidade reconhecida experimentalmente e interpretada como tal não foi possivel devido às dificuldades históricas intrinsecas para formulação de uma teoria completa. A natureza ondulatória da luz em termos de ondas eletromagnéticas só começou a ser resolvida a partir do século XIX.

III.4 - A CONCEPÇAO CORPUSCULAR DA LUZ EM UM CASO EXEMPLAR: A REFRAÇAO

Newton, desde o inicio de seus estudos em ótica, assumiu a concepção corpuscular da luz. Mas que tipo de corpúsculos compunham a luz?

Esta resposta é um dos pontos principais de nossa investigação. Procuramos distinguir algumas propriedades que estes corpúsculos possuem as quais os fazem comportar de forma especifica como no caso da refração e dispersão.

Em 1670 quando Newton escreveu seus primeiros trabalhos em ótica. Descartes já havia derivado a lei dos senos para a refração da luz, a partir da suposição que a luz viajava com velocidades diferentes em meios de densidades diferentes, não considerando como esta mudança realizava-se.

Segundo Mc Mullin, ao tentar solucionar a questão, Newton primeiro propôs um gradiente de densidade no éter como causa da "inflexão", i. é, do curvar dos raios de luz (1675), mas não conseguiu achar uma maneira consistente para desenvolver as consequências óticas desta idéia. Aponta ainda que no Principia, "sua nova maneira de representação de força leva-o a fazer uma analogia entre uma particula de luz e um campo uniforme de força perpendicular à interface dos dois meios" (McMul-MA, pag. 85).

No Optikcs, dentro de seu propósito de "propor e provar as Propiedades da Luz por Razão e Experimento",

Newton propõe na realidade dois tipos de "explicações" para a refração da luz a partir da determinação da lei experimental que governava o fenômeno em questão.

A lei da refração aparece logo no início quando apresenta oito Axiomas tratando do que será visto daí para frente. Sobre a lei da refração: "O seno de incidência ou está precisamente ou muito próximo de uma dada razão do seno de refração" (Opticks, pag. 5). Segundo Sabra este "precisamente ou muito próximo" utilizado por Newton poderia levar-nos a pensar que era devido apenas ao fato que a lei não fazia referência às desiguais refrangibilidades dos diferentes raios coloridos. Mas por outro lado, vê-se claramente que Newton estava sendo coerente com seus propósitos, indicando que procurava uma "denonstração na qual a luz fosse rigorosamente deduzida de algumas suposições, conforme distinguida em uma tabela de leituras experimentais as quais, unicamente, não garantiam o estabelecimento de uma razão matemática" (Sa-TLDN,pag. 299). Para tanto no livro I reapresenta a lei da refração na qual dá um tratamento mais "matemático" e indica os experimentos que orientaram tais deduções as quais são expostas no próprio livro I. A Proposição V: "O seno de incidência de todo raio considerado separado está para seu seno de refração em uma dada razão" (Opticks, pag. 75) é demonstrada segundo uma importante suposição básica: "Que. os corpos refletem a luz pela ação sobre seus raios em linhas perpendiculares a suas superficies" (Opticks, pag. 72), o

que mostra claramente que Newton tentaria explicar a refração em termos de uma força perpendicular.

A existência desta força, na explicação de Newton, é percebida quando olhamos para a refração do ponto de vista dinâmico, assumindo então que os raios de luz obedecem também as leis do movimento, isto é, possuem a "vis inertiae". Quando na passagem dos raios de luz, de um meio para outro, verifica-se uma mudança na sua direção o que significa, pela segunda lei de Newton, que existia uma força agindo na suprefície de separação. Mas desde que os raios "caindo" perpendicularmente na superfície de separação passam através de uma mesma linha sem sofrer qualquer deflexão, conclui-se que esta força só age na direção normal à superfície, não tendo componente em outra direção. Além disso quando raios "caem" obliquamente sobre a superfície, de acordo com Newton, somente uma componente de sua velocidade será acelerada ou retardada de acordo com a força perpendicular, de modo que a luz passando de um meio como o ar para um outro mais denso como a água ou vidro ela será defletida em direção à normal, donde concluímos que a velocidade da luz na água ou vidro é maior que no ar.

Newton chega então à mesma conclusão de Descartes, expressada pela equação: Vi x sen(i) = Vr x sen(r), com algumas diferenças fundamentais como a de introduzir a palavra força "em virtude de uma suposição inicial que os raios seguiam as leis da dinâmica" (Sa-ΓLDN, pag. 302). Outra diferença importante está em uma constante introduzida por Newton, dada por: sen(i)/sen(r) = Vr/Vi, cujo valor

dependia dos meios tomados em consideração, e portanto podendo escrever a equação na forma: sen(i) = n sen(r) (Opticks, pag. 82). Esclarecemos no entanto que as equações apresentadas na linguagem matemática não são devidas a Newton que as apresenta em linguagem escrita.

No final desta denonstração Newton escreve: "E esta denonstração sendo geral, sem determinação do que é luz ou por qual tipo de força ela é refratada ou assumindo algumas coisas mais remotas do que um corpo refrator agir sobre raios em linhas perpendiculares a suas superfícies: Eu tomo por argumento muito convincente e verdadeiro da proposição" (Opticks, pag. 81).

Newton não considera terminada a discussão sobre a refração. Das suas experiências com as cores em filmes finos e das suas sugestões para "pesquisas ulteriores" apresentadas no livro III, podemos ver que Newton estava pensando não só na dinâmica do fenômeno mas na natureza do mesmo. Nesie sentido numa interpretação não apenas sob o ponto de vista dinâmico, mostramos aspectos particulares do pensamente de Newton com respeito à refração, mas que fazem parte de uma explicação para o acontecido.

Uma segunda explicação começa a formar-se antes da publicação do <u>Opticks</u> como é visto em um de seus "papers" apresentados a Royal Society em 9 de dezembro de 1675, contendo "Explicações Hipotéticas sobre as Propriedades da Luz" (citado por Sa-TLDN, pag. 309). Onde Newton introduz a idéia de éter como um "meio similar ao ar, muito mais raro e sutil e muito mais elástico que o ar", e luz neste caso não

era nem este éter, nem seu movimento de vibração, "mas alguma coisa de tipo diferente propagada de corpos luminosos". Além disso a luz deveria ser capaz de interagir com o éter.

A preocupação com a interação sempre esteve presente na obra de Newton. Ele não fala em nenhum momento de "raios de luz" sem pensar na interação deste, por exemplo, com a matéria ou com o próprio éter. A idéia de interação de luz e éter, um agindo sobre o outro mutuamente, luz excitando vibrações no éter e éter propagando os raios de luz.

Da análise de correspondências de Newton e de passagens do Opticks, Sabra faz um resumo sobre o papel do éter na refração, quando o éter de Newton ainda carregava fortes caracteristicas mecânicas: "Newton supõe que a densidade do éter dentro de corpos transparentes e opacos é inversamente proporcional à densidade do corpo e que ela é maior no espaço livre. Ele então imagina a superfície de refração dos dois meios desemelhantes como uma superfície fina chamada superfície refratora na qual o éter torna-se mais raro de um lado que de outro, sua densidade sendo a mesma ao longo das linhas paralelas à superfície de separação mas irregular ao longo das perpendiculares à superfície. Além da região de separação o éter é uniformemente distribuido em ambos os lados. Supõe também que o éter mais denso age mais fortemente sobre a luz. Quando entretanto um raio obliquo penetra na região refratora, na sua passagem de um meio para outro, ele será

impelido para onde o éter é mais denso e o corpo é mais raro, sendo curvado então na sua passagem" (Sa-TLDN, pag. 310).

Considerações mais maduras de Newton com respeito à refração foram apresentadas nas Questões do Opticks, alguns anos depois de sua própria demonstração da lei dos senos no Principia, quando também suas idéias com respeito ao éter já tinham passado por várias modificações e reelaborações apoiadas não só na mecânica mas também na sua teoria da matéria e alquimia. Nesta questões Newton sugere que a refração fosse explicada pela ação mútua entre a luz e os corpos grossos: "Não agem os corpos e a luz mutuamente um sobre o outro, isto quer dizer, corpos sobre a luz emitindo-a, refletindo-a, refratando-a e infletindo-a e a luz sobre os corpos aquecendo-os e colocando suas partes em movimento de vibração no qual consiste o calor?" (Opticks, Qu. 5, pag. 339). Ação possibilitada pela presença do éter como um meio "ativo" que continha os "principios ativos" que são, no caso, a causa presente : "E não é este meio o mesmo que aquele meio pelo qual a luz é refratada e refletida e por cujas vibrações luz comunica calor a corpos, e coloca em "fits" de fácil transmissão e fácil reflexão?" (Opticks, Qu. 18, pag. 349).

Certamente estas idéias avançadas por Newton nas Questões do livro III não tem o "status" lógico das Proposições encontradas nos livros I e II as quais são firmemente apoiadas pelo "experimento e razão" formando uma teoria da luz. Mas vale ressaltar que Newton considerava que

a refração causada pela ação mútua de um meio particulado, o éter, com os raios de luz; e pela ação mútua entre raios de luz e corpos grossos era uma importante descoberta que deveria encaminhar respostas para "pesquisas ulteriores" no assunto: "...E desde que não terminei esta parte de meu propósito, eu concluirei somente apresentando algumas Questões para que pesquisas ulteriores sejam feitas por outros" (Opticks, pag. 339).

III.5 - A TEORIA DE ONDA E A INTERPRETAÇÃO ONDULATÓRIA DA LUZ NA VISÃO DE NEWTON

A concepção de onda como movimento propagado através de meio fluido foi alvo de vários estudos no século XVII, considerando principalmente as teorias contínuas para a natureza do som e da luz.

Newton desenvolveu sua visão sobre a teoria contínua, movimento propagado através de fluido, principalmente na sua mecânica. No Principia, ele trabalha com esta questão basicamente na Sessão 8 do Livro II intitulada "Sobre o movimento propagado através de fluidos". Segundo Shapiro (Sha-LP, pag. 284) nesta sessão Newton demonstra que o movimento ou pressão propagada num meio fluido divergirá completamente de um caminho retilíneo depois que o movimento ou pressão passar através de uma abertura. Dessa forma a luz não poderia ser propagada por movimento de ondas (veja Fig.8, Apêndice II). Além disso dois fatores levaram-no a reforçar sua oposição à teoria contínua da luz: o intenso estudo da ótica de Descartes realizado por Newton e o desenvolvimento de sua teoria das cores da luz branca.

Quanto à analogia feita por Descartes para a luz como pressão propagada em meio fluido, Newton refuta-a na proposição 41 da sessão 8 afirmando que uma pressão propagar-se-ia em linha reta em um fluido se somente se as partes que compunham este meio estivessem localizadas nesta

linha. Quanto a sua teoria das cores, além de outros fatos, tal pressão ou movimento de onda não explicava a existência das cores do espectro.

A teoria de onda do século XVII foi tratada por Hooke e Huygens entre outros. Tanto a teoria de Hooke quanto a de Huygens sofreram oposição de Newton. Ele refuta a teoria de Hooke na explicação da dispersão cromática da luz, e apresenta no livro III do Opticks seus motivos para não aceitar a teoria de Huygens na explicação da dupla refração no cristal de Calcita ou cristal da Islândia como referido por Newton.

Para Hooke as cores eram produzidas na refração de modo que quando a frente de onda fosse inclinada na sua passagem por outro meio, o vermelho seria produzido numa extremidade da frente e o azul na outra extremidade. Newton refuta esta teoria da dispersão da luz principalmente sob dois pontos: Primeiro não era observado nos seus cuidadosos experimentos que o espectro tinha suas extremidades no vermelho e no azul, além disso a tal teoria de Hooke ia completamente contra sua nova descoberta das diferentes "refrangibilidades" dos raios de luz correspondendo a cores do espectro, uma a uma. Descoberta que tornou-se um dos pontos fundamentais de sua teoria das cores, cuidadosamente comprovada por uma série de experimentos.

Apesar de que Newton fez várias observações e medidas chegando até em uma lei geométrica apresentada na Qu. 28 do Opticks para a dupla refração, ele não apresentou solução ou teoria que desse conta do fenômeno. Mesmo assim

não aceita a explicação dada por Huygens para tal fenômeno: "Não se tentou até aqui (que eu saiba) explicar a refração incomum do cristal da Islândia através de pressão ou movimento propagado, a não ser por Huygens, que, para esse fim, supôs dois meios vibratórios distintos dentro do cristal. Mas quando testou as refrações em dois pedaços sucessivos daquele cristal e as encontrou assim como é mencionado acima, confessou-se embaraçado para explicá-las. Pois as pressões ou movimentos, propagados a partir de um corpo luminoso através de um meio uniforme, devem ser em todos os lados iguais, enquanto que por esses experimentos parece que os raios de luz têm propriedades diferentes em seus lados diferentes. Ele supôs que as vibrações de éter ao passar através do primeiro cristal poderiam receber certas modificações novas, que poderiam determiná-las a propagar-se neste ou naquele meio dentro do segundo cristal, de acordo com a posição daquele cristal. Mas que modificações essas poderiam ser, ele não podia dizer, nem pensar em nada satisfatório naquele ponto. ...Para mim ao menos isto parece inexplicável, se a luz não for nada além de pressão ou movimento propagado através de éter" (Opticks, Qu. 28,pag. 363).

Além desses, outros pontos levaram-no a rejeitar a teoria de ondas, por exemplo na questão da interação da luz com os corpos grossos e na questão do calor. Embora sua teoria não tivesse dado conta de responder a tais questões, Newton tenta indicar caminhos de solução no livro III, caminhos que, para ele, não levavam à teoria de onda daquele

tempo: "Não são errôneas todas as hipóteses em que a luz consiste, por suposição, de pressão ou movimento propagado através de fluido? Pois em todas essas hipóteses os fenômenos da luz foram até agora explicados supondo-se que originam de novas modificações dos raios, o que é uma suposição errada. Se a luz consiste somente de pressão propagada sem movimento real, ela não seria capaz de agitar e aquecer os corpos que a refratam e a refletem" (Opticks, Qu. 28, pag. 362).

Na verdade Newton rejeita a teoria de onda da época por considerar que esta não dava conta de pontos fundamentais envolvidos no comportamento e natureza da luz. Para nós parece que a descrição geométrica da luz como propagação de onda em meio fluido, disfarçava a complexidade, observada por Newton, dos fenômenos físicos envolvidos principalmente no que diz respeito à interação das partículas que compunham os raios de luz com os corpos grossos e com o éter ativo.

Isto não quer dizer que Newton tenha desprezado a possilbilidade de interpretação periódica para o comportamento da luz, mesmo por que ele fez várias experiências que foram apresentadas no Opticks e que evidenciaram o comportamento periódico da luz. A teoria dos "fits" tentou dar conta dessas evidências, ou seja, Newton tentou através dessa teoria conciliar a concepção corpuscular e as novas observações com respeito à natureza da luz.

Embora não tenha conseguido uma completude nessa tentativa de conciliar a natureza corpuscular com uma possível natureza periódica da luz, desejamos sublinhar a amplitude dessa idéia que, segundo De Broglie (Bro-ML, pag. 130), foi tão "avançada" para seu tempo que "permaneceu embrionária e sem desenvolvimento ulterior" até que pudessemos reconhecer isto hoje, trezentos anos depois, quando a visão dual da natureza da luz é estabelecida.

CAPITULO IV

CONCEITOS TRABALHADOS POR NEWTON NO OPTICKS

IV.1 - ETER E ATIVIDADE

O corpuscularismo é presença continua em toda a obra de Newton, não como mera coencidência, mas como "consequência plausivel" da sua própria "doutrina". Na verdade Newton era um atomista do século XVII e desde seus anos de estudante, segundo Doobs, já havia se tornado um "eclético corpuscularianо".

Sua concepção de éter começou a desenvolver-se desde os anos de estudante sofrendo processo de modificação e amadurecimento até chegar no éter do Opticks o qual estava intimamente envolvido com a concepção de luz.

Segundo Dobbs, no inicio Newton admitiu a existência do éter mecânico postulado pelos filósofos da mecânica o qual era imperceptivel aos sentidos e sutil mas capaz de transmitir efeitos por meio de pressão e impacto. Esta convenção, inventado pelos filósofos, livraria então a Filosofia Natural das "incompreensiveis influências ocultas de ações a distância (por exemplo a atração magnética e efeitos lunares)" (Dob-AN, pag. 512). E para Newton esta hipótese se tornaria inquestionável somente se tal éter estivesse preenchendo todo o universo, tornando-se um plenum.

Esta concepção plenista do éter explicava, até certo ponto, a gravidade e a coesão entre as particulas da matéria, já que o problema da coesão das particulas discretas era ponto de critica ao atomismo desde a antiguidade. Dobbs aponta que as idéias de Newton, ainda quando estudante, estão registrados nos seus cadernos de estudante sob o titulo: Quaestiones Quaeden Philosophiae. Assim como estudante, o seu éter mecânico serviria como um mecanismo de pressão suficiente para explicar a coesão, sugeriu ainda que "poderia existir algum outro poder pelo qual a matéria se mantém ligada" (Dob-AN, nota 8, pag. 513).

Dobbs aponta que pouco tempo depois Newton começa a afastar-se destas idéias contidas no Quaestiones, aparecendo a partir daí a influência da filosofia alquímica sobre a filosofia mecânica na sua obra. E em 1660, uns cinco anos depois do Quaestiones preparou um pequeno trabalho contendo uma série de proposições alquímicas.

Da Teoria da Matéria de Newton podemos perceber o aparecimento do seu interesse por um agente vital. Segundo Dobbs, Newton não parecia estar preocupado com a unidade da matéria nos seus "breves anos de mecanismo restrito". Mas depois de iniciar-se na alquimia, a "doutrina da unidade da matéria e sua transmutabilidade tornou-se parte do registro publicado de suas idéias". Na primeira edição do Principia de 1687 apresenta uma afirmação clara: "Qualquer corpo pode ser transformado em outro, de qualquer tipo, e todos os niveis intermediários de caracteristicas podem ser reduzidas no mesmo" (citado por Dob-AN, pag. 514). Mas "apesar de que

muitas afirmações descompromissadas tenham desaparecido do Principia de 1687 em edições posteriores e embora as últimas passagens do Opticks demonstrem algumas possíveis ambiguidades, o consenso de estudos recentes é que Newton manteve até o fim a crença na homogeneidade inercial e a transformabilidade da matéria" (Dob-AN, pag. 514).

Por volta de 1669, nas suas Proposições Newton introduz um agente alquimico ativo e vitalizador responsável pelas "mudanças" e universal em suas ações, capaz de se transformar em caos e então agregar novamente as particulas da matéria: "Esse, e apenas esse, é o agente vital difundindo-se através de todas as coisas que existem no mundo" (citado por Dob-AN, nota 17, pag. 515).

Para Dobbs (Dob-AN, pag. 515-6), muito provavelmente, essas idéias sobre o agente vital universal tinham vindo de fontes alquimicas, apesar de posteriormente terem sido reforçadas por outras fontes. Assim, inspirado pelo intersse no agente vital, leva sua teoria corpuscular por caminhos diferentes daquelas suas contemporâneas procurando a fonte dos processos. Processos os quais produziam uma infinita variedade de formas vivas e que certamente não poderiam ser simplesmente relegada a ações mecânicas entre corpúsculos brutos. Esta importante idéia já tinha sido explicitada por Newton em meados de 1679 e foi sustentada e defendida por ele no Opticks.

Por volta de 1674 o novo éter vital é descrito em um longo tratado alquimico, deixado sem titulo por Newton mas que é conhecido por sua frase inicial: Sobre as óbvias

leis da natureza e processos da vegetação (citado por Dob-AN, pag. 517). Neste Newton descreve o "fôlego etereo" como um "espirito sutil" agente universal da natureza, veiculo no qual as ações são realizadas. Dobbs observa que Newton utilizou-se da palavra "vegetação" num sentido muito geral, aplicando-o aos três dominios da natureza: mineral, animal e vegetal; assim o "espirito vegetal" é o mesmo em todas as coisas e o importante é notar os efeitos das semelhantes e desemelhantes ações dos três dominios. Assim o éter que neste contexto é inicialmente um "espirito vegetal" que penetra em todas as coisas, passa a ser mais provavelmente apenas um veiculo para "algum espirito mais ativo". E que este "espirito ativo" poderia ser talvez "o corpo de luz", estabelecendo então um paralelo entre "espirito ativo" e luz.

Segundo Dobbs, Newton nunca abandonou completamente esta idéia, mas também não permaneceu absolutamente comprometido com a idéia de que o espirito vegetal fosse o corpo de luz.

Nas suas declarações mais gerais no Opticks, Newton considera o éter como um "agente" de pequenissima densidade, constituido por sutis particulas que repeliam umas as outras, dando ao meio uma enorme "força elástica", como podemos ver nas Questões 21 e 22. Este agente ao mesmo tempo possuia uma atividade intrinseca muito maior do que a atividade da luz e também do que aquela das particulas que compunham os corpos ordinários.

Quando preparava uma revisão do Opticks de 1704, Newton coloca: "Existem entretanto agentes na natureza capazes de fazer as particulas dos corpos atrairem muito fortemente umas às outras para mantê-las fortemente juntas pela atração. Um desses agentes pode ser o éter acima mencionado, por qual a luz é refratada. Outro pode ser um agente ou espirito que causa a atração elétrica... E como existem outros meios que podem causar atrações como os eflúvios magnéticos, é tarefa da filosofia experimental descobrir todos estes meios e suas propriedades" (citado por McMul-MA, nota 198, pag. 97, originais de Newton de 1706).

Esta passagem apresenta-se na edição estudada da seguinte forma: "Existem entretanto agentes na natureza capazes de fazer as particulas dos corpos manterem-se juntas por meio de fortes atrações. E é tarefa da filosofia experimental descobri-los" (Questão 31, pag. 394).

Os vários éteres de Newton desde a mais primitiva versão em seus cadernos de estudante até o éter tratado no Opticks eram constituidos de particulas sutis, as quais poderiam acabar exercendo resistência aos movimentos dos planetas e dos cometas. Sendo assim, por volta de 1680, Newton desvia-se desses mecanismos de éter que inicialmente estavam envolvidos com a gravitação, reações quimicas e coesão da matéria, na direção das teorias das forças entre particulas. Na questão da coesão, por exemplo, as partes seriam mantidas juntas não pela presença de um éter mecânico ou ativo, mas pela força de interação entre as particulas. Ainda assim Newton continua pensando que a luz, no minimo,

contribuia para a atividade da matéria, não descartando totalmente a idéia de um éter básico contendo o "espírito ativo".

Pois mesmo considerando forças de interação entre partículas, Newton não descartou a idéia de atividade e nem concordou com as idéias de seus contemporâneos de que ação só ocorreria por contato mecânico. Para ele, estas forças existiam, apesar de que ele não tinha meios de explicar suas ações as quais eram físicas, não materiais e mensuráveis através de seus efeitos. Estas forças agiam "por meios regulares e naturais, ainda que não-mecânicos, no sentido do século XVII" (Dob-AN, pag. 524).

No Opticks encontramos uma declaração clara sobre as forças associadas à matéria: "Parece-me que estas Partículas, não apenas possuem a Vis Inertiae, acompanhadas das Leis do Movimento tão passiva como naturalmente resulta dessa Força, mas também elas são movidas por certos Princípios ativos, tal como o é a da Gravidade e a causa da Fermentação e coesão dos Corpos." (Opticks, pag. 401)

Assim, como conclui Dobbs, "quando Newton dizia "ativo" em suas discussões sobre força, realmente devemos entender que um espírito divino está lá operando, ou direta ou indiretamente" (Dob-AN, pag. 526), a despeito de toda a ambiguidade existente no século XVII com respeito à natureza corpórea ou incorpórea dos espíritos, compartilhada pelo próprio Newton.

IV.2 - PRINCIPIOS ATIVOS

Idéias desse tipo são apontadas por especialistas como Dobbs e Mc Mullin como consequência da influência das doutrinas neo-platônicas apreendidas por Newton quando ainda era aluno de graduação de Henry More no Grashan College e de Isaac Barrow no Trinity College, em Cambridge durante o final da década de 1650 e depois durante os anos de 1660 até 1665, quando obteve seu primeiro titulo acadêmico.

Dobbs aponta que apesar do interesse de Barrow e More estar concentrado em outros assuntos, eles conheciam a literatura alquimica e devem ter influenciado Newton a tomar conhecimento de tal literatura.

Segundo Mc Mullin a literatura alquimica lida com muita atenção por Newton estava cheia de referências aos principios ativos responsáveis pela transformação da matéria. Esses alquimistas acreditavam que a matéria de todas as coisas era uma e a mesma, e consideravam os processos de mudança quimica como um tipo de processo vivo e portanto a "ciência" de tais mudanças não poderia ser formulada em termos completamente mecânicos.

Em meio a este processo de conhecimento das idéias alquimicas e à realização de experiências em quimicas, Newton escrevia seus <u>Principios Matemáticos</u>. Mc Mullin esclarece que apesar de Newton estar convencido que o mundo era permeado por atividades de todos os tipos, a dualidade

de princípios passivos e ativos aparece explicitamente de maneira ainda discreta no Principia. Dobbs entretanto aponta firmemente que a mecânica de Newton estava altamente influênciada pelas questões estudadas por ele com respeito à Teoria da Matéria e Alquimia, e portanto a sua mecânica contem nos seus fundamentos dualidades como os princípios ativos e passivos. Nas Questões do Opticks Newton fala mais diretamente sobre estes princípios ativos que não estavam envolvidos somente com a atividade da luz ou com a interação entre corpos e luz e a transformação de um no outro, mas estavam envolvidos também na gravitação.

"A Vis Inertiae é um princípio passivo pelo o qual corpos ... resistem tanto quanto são resistidos. Mas por este princípio sozinho não poderia ter existido qualquer movimento no mundo. Algum outro princípio foi necessário para colocar os corpos em movimento, e agora que eles estão em movimento, algum outro princípio é necessário para a conservação do movimento". (Opticks, Qu. 31, pag. 397)

E continuando em meio às questões da gravitação, Newton fala que os princípios ativos eram necessários para a conservação do movimento: "E se não fosse por estes princípios (ativos), os corpos da terra, planetas, cometas, sol e todas as coisas tornar-se-iam frios e congelariam ... e os planetas e cometas não permaneceriam em suas órbitas". E por estes mesmos princípios ativos "... o sol continua violentamente quente e resplandece e aquece todas as coisas com sua luz" (Opticks, Qu. 31, pag. 397).

Apesar de toda a investigação de Newton, ele não conseguiu decidir como estes princípios operavam e o que eles eram exatamente: "... E o que este princípio (ativo) é, e por meio de que leis ele age na matéria, é um mistério; ou como ele encontra-se relacionado com a matéria é ... difícil de explicar" (citado por Mc Mul-MA, pag. 46, originais de Newton).

Mas certamente estes princípios estavam envolvidos nos processos fundamentais da natureza como: a "gravidade", a "fermentação" e a "coesão dos corpos". Não como "qualidades ocultas supostas resultarem das formas específicas das coisas, mas como leis gerais da natureza, pelas quais as próprias coisas são formadas; ..." (grifo nosso) (Opticks, Qu. 31, pag. 401).

IV.3 - SOBRE O CONCEITO DE FORÇA E VIS INERTIAE

As questões que orbitam a palavra "força" tiveram importância fundamental em toda a obra de Newton. Ele, diferentemente dos filósofos mecanicos do século XVII, defendia que a realidade física não consistia apenas de particulas em movimento, caracterizadas pelas suas forma, grandeza e solidez, que agiam apenas por contato. Newton intriduziu à filosofia mecânica a idéia de forças de atração e repulsão consideradas como "propriedades" das particulas. Mesmo assim "a filosofia da natureza da Newton não deixou de ser mecânica; a realidade física ainda consistia de particulas em movimento, mas a explicação última agora era a força de atração e repulsão que alteravam o estado de movimento de uma particula" (West-FNP, pag. 377).

Segundo especialistas como Mc Mullin, Doobs e Westfall o status das forças na concepção de Newton da natureza é questão complexa, apontam ainda que estas mesmas forças estavam intimamente envolvidas com sua teoria da matéria.

Doobs aponta que, por volta de 1686, os corpos grosseiros da teoria da matéria de Newton passaram a ser não apenas constituidos de partes crescentemente complexas, mas de "estruturas hierárquicas de partes e poros". Nessa hierarquia as particulas se mantinham unidas pela força de interação entre elas e não apenas pela presença do éter. Os

"poros constituintes de sua hierarquia não eram vazios pois estavam permeados por forças". (Dob-NATM, pag. 522)

Numa longa série de artigos sobre regimes de trabalho em alquimia, datados de 1670 a 1690, Newton descreve incansavelmente várias vezes os processos vivos que pensava estarem ocorrendo nos níveis mais baixos das "hierarquias da matéria". Segundo Dobbs, o último artigo culminante da série, escrito em meados de 1690, é um esboço para um trabalho formal onde um capítulo é devotado ao "primeiro agente", "sem o qual nada é realizado e sem o qual a vida e a atividade não aconteceriam". Esse agente primeiro era o vínculo entre os aspectos "masculinos e feminino da matéria" que possibilitava a união deles afim de produzir o "fruto mais nobre" (Dob-NATM, pag. 523). Na interpretação de Dobbs as partículas estariam no nível mais básico da composição nas hierarquias newtonianas.

Dobbs aponta ainda que Newton não conseguiu solucionar as questões que envolviam tais vínculos entre as partículas da matéria, se de natureza corpórea ou incorpórea ele dá pouca indicação. Recorreu então ao conceito de força de interação entre partículas o qual poderia oferecer alguma solução para a questão.

Salienta ainda que para os contemporaneos de Newton que sustentavam a idéia da ação por apenas impacto mecânico, estas forças que poderiam agir diferentemente traziam grande desconforto. O próprio Newton muitas vezes mostrou-se defensivo com respeito a elas. Para ele, elas realmente existiam embora não tivesse meio de explicar suas

ações que certamente eram físicas e mensuráveis através de seus efeitos. Além disso eram ligadas às leis da natureza agindo por meios regulares e naturais, ainda que não-mecânicos no sentido do século XVII.

A declaração mais geral de Newton sobre as forças associadas à matéria: "Parece-me provável... que essas Partículas, não apenas possuem a Vis Inertiae, acompanhada de Leis do Movimento tão passiva como naturalmente resulta dessa Força, mas também ela são movidas por certos Princípios ativos, tal como o é a Gravidade, e a causa da Fermentação e a coesão dos Corpos" (Questão 31, pag. 401).

Segundo Mc Mullin a primeira ocorrência da palavra "força" no Principia, Definição III, sugere quão obstinado este problema seria para Newton, mostrando ainda as tensões inerentes à concepção de interação da matéria e força: "A vis inertiae ou força inata da matéria é um poder de resistência, pela qual todo corpo continua no seu presente estado, se estiver em repouso, ou mantendo-se uniformemente em linha reta. Esta força é sempre proporcional ao corpo aplicado, e difere nada da inatividade da massa, mas na nossa maneira de concebê-la . O corpo, de uma natureza inerte da matéria, é somente com dificuldade mudado de seu estado de repouso ou movimento. Sob qual descrição, esta vis insita pode, por um mais significante nome, ser chamada de inertia (vis inertia). Mas um corpo somente exerce esta força quando outra força impressa nele esforça-se para mudar suas condições. E o exercício desta força pode ser considerado como duplamente rersistência e

impulso:"resistance", na medida que o corpo opõe-se à impressão da força para manter-se no presente estado; "impulse", na medida que um corpo esforça-se para mudar o estado de outro corpo mas não facilmente dando direção para a força impressa do outro..." (citado por McMul-MA, pag. 33, Principia, def. III).

Matéria, para Newton, é dita inerte não no sentido de passividade total mas significando ao contrário, que "somente com dificuldade" é mudado o seu estado de repouso ou de movimento. E inertia ou resistência para mudar o movimento é associada por Newton com os aspectos da matéria dos corpos.

Para Mc Mullin, os conceitos de vis insita e vis inertia assinalaram o abandono do principio da passiviade rigorosa da matéria que tinha influenciado antigos mecânicos, causando a mecânica do século seguinte sérias "dores de cabeça". Além de que Newton utilizou-se de uma variada notação para força que, claramente, estava envolvida com sua complexa teoria da matéria. Três tipos diferentes de "forças" cada uma correspondendo a diferentes tipos de "atividades" da matéria, são reconhecidas logo no principio dos Principios: vis conservans é uma "força" conservadora, "a causa em algum sentido do continuo movimento uniforme do corpo". Ela era medida pelo "impulso requerido para tirar o corpo do repouso para a sua velocidade presente, ou equivalentemente por um momento total do corpo" e ela agia na direção do movimento do corpo e o renovava em instantes sucessivos por uma sequência de impulsos. A vis resistens é

uma "força de resistência igual e oposta a vis impressa que é responsável por sua aparência". É exercida somente quando a força age para mudar o movimento de um corpo; não é operada quando no movimento uniforme. Sua medida é aquela da força imposta e não do momento do corpo no qual a força age. É obedece a lei III, i. é, quando A age sobre B, B reage. A vis impressa "é uma força motiva impressa ou externa no sentido clássico dos antigos mecânicos". Segundo Mullin, vis impressa e vis resistens parecem ser "os dois lados da mesma moeda", seriam forças iguais e opostas agindo no corpo o que significaria que nenhuma mudança no movimento do corpo aconteceria (McMul-MA, pag. 36).

Segundo Mc Mullin, a complicada questão da distinção entre as vis conservans , vis resistens e vis impressa pode ser resumida. Apesar de Newton dizer que vis insita e vis inertia diferiam apenas em nome, as funções dinâmicas atribuidas a elas não eram exatamente as mesmas, apesar de que cada uma dessas forças eram "incoformavelmente" duais em sua natureza. "Vis insita é proposta duplamente como movimento conservado (vis conservans) e como uma disposição de resistir a mudanças de movimento (vis resistens)". "Vis inertiae é proposta duplamente como uma resistência ou reação à força impressa (vis resistens) e como um impulso que é responsável pelo movimento de um outro corpo" (McMul-MA, pag. 42). Então, vis inertiae considerada como resistência (vis resistens) não mantém de fato o estado do corpo. "Ela é representada como tendendo a fazer por oposição a força externa, mas este

"tendendo" não contribui para a análise do movimento em termos de impulso". Obedecendo ainda as leis do movimento (McMul-MA, pag. 40).

IV.4 - A NATUREZA CORPUSCULAR ATIVA E PASSIVA DA LUZ

Desde seus primeiros escritos em ótica, Newton considerava que a luz consistia de uma espécie de corpúsculos. Mas que tipo de corpúsculos? Quais propriedades eles teriam? E qual a diferença entre eles e os corpos "grossos"?

A concepção corpuscular da luz em Newton fica evidente desde a primeira página do Opticks na apresentação da Definição I: "Por Raio de Luz, Eu entendo suas Partes minimas e aquelas tanto Sucessivas nas mesmas Linhas, quanto Contemprâneas em diversas Linhas. Por isto é manifesto que Luz consiste de Partes, duplamente Sucessivas e Contemporâneas; porque em um mesmo Lugar voce pode parar aquela que vem em um Momento, e permitir passar aquela que vem imediatamente depois; e no mesmo tempo voce pode parà-la em algun Lugar, e permiti-lhe passar em algum outro. E esta Parte de Luz a qual é parada não pode ser a mesma que aquela que é permitida passar. A Luz minima ou a Parte de Luz que pode ser parada sozinha sem o resto da Luz, ou propagada sozinha, ou faz ou sofre alguma coisa sozinha, que o resto da Luz não faz ou não sofre; Eu chamo de Raio de Luz." (Opticks, pag. 2).

Mas estas "partes minimas" discretas que compunham os raios de luz pertencem à concepção geral de Newton de particulas que caracterizavam-se por: "Parece-me, além disso, que essas Particulas não tem somente a Vis Inertiae

acompanhadas de tais Leis passivas do Movimento como as que naturalmente resultam daquela Força, mas também, são movidas por certos Principios ativos, tal como o da Gravidade, e aquele que causa a Fermentação e a Coesão dos Corpos" (Opticks, Qu. 31, pag. 401).

Quanto à natureza ativa dos corpúsculos que compunham a luz, em 1706, na edição em latim do Opticks na qual acrescenta algumas Questões no Livro III, Newton indaga: "Desde que luz é o mais ativo de todos os corpos conhecidos por nós, e entra na composição de todos os corpos naturais, porque ela não pode ser o principio primeiro de atividade neles?" (citado por McMul, nota 165, pag. 85).

Segundo Mc Mullin, Newton responde esta questão na Qu. 22 do Opticks editado em 1704: "Não são os corpos e a luz mutuamente transformados um no outro? E não podem os corpos receberem seus poderes ativos das particulas de luz pois que elas entram na sua composição?" (citado por McMul-MA, pag. 86). Esse pensamento sugere que exista uma certa diferença entre os corpos e a luz já que uma pode transformar no outro e que a atividade dos corpos deriva-se basicamente daquela da luz. Mc Mullin observa ainda que esta questão foi modificada por Newton quando introduz novas Questões na edição de 1717 do Opticks: "Não são os corpos grossos e a luz convertiveis um no outro, e não podem os corpos receberem muito de suas atividades das particulas de luz, as quais entram na sua composição" (Opticks, Qu. 30, pag. 374). Conservando ainda a existência de uma certa diferença entre corpos grossos e os corpúsculos de luz, já

que a luz era tomada como uma fonte de atividade do que os corpos em geral.

A questão da transformabilidade da luz em corpos e vice-versa é claramente justificada por Newton dentro de sua ótica: "A mudança de luz em corpos e de corpos em luz é muito conforme (conformable) para o curso da natureza que parece encantar-se com as transformações" (Opticks, Qu. 30, pag. 374). Além do que parece que as preocupações de Newton com as interações e transformações não estavam apenas no âmbito de sua ótica, mas na sua própria maneira de olhar o mundo, consequentemente os acontecimentos naturais ou fenômenos na forma de serem estudados através de recortes bem definidos pela intenção e ferramentas de estudo.

CAPITULO V

A EPISTEMOLOGIA DE NEWTON

V.1 - SUA EPISTEMOLOGIA E A CONCEPÇAO CORPUSCULAR

A partir da apresentação de suas Optical Lectures como Lucassian Professor e de seu New Theory about Light and Coulors em 16/2, tanto Hooke quanto Pardies e Huygens entenderam que Newton estava propondo uma visão corpuscular para a luz, da qual era deduzida toda a sua "doutrina" sobre as cores. Referiram-se a esta teoria das cores, ou à teoria da heterogeneidade da luz branca, como uma hipótese, querendo dizer que, inclusive o "experimentum crucis", puderiam ser interpretados de maneira diferente que não a de Newton.

Sabra salienta (Sa-TLND, pag. 274) que esta oposição que impulsionou o esclarecimento de uma epistemologia newtoniana desenvolvida durante seus trabalhos na ótica. No inicio do processo de estruturação de sua epistemologia, Newton parecia fugir da oposição, negando que sua hipótese era parte de sua teoria com respeito à heterogeneidade da luz branca, visto que suas proposições experimentais estavam sendo confundidas com suas hipóteses sobre a corporeidade da luz, como é visto na sua correspondência em resposta às considerações de Hooke: "É verdade que da minha Teoria Eu argumento pela Corporeidade da Luz, mas Eu a faço sem qualquer Afirmação (positiviness)

absoluta; Eu a faço quando muito como uma muito plausivel Consequência da Doutrina, e não uma Suposição fundamental" (citado por Wor-PL, pag. 137; originais de Newton de 1672).

Nesta resposta a Hooke, Newton coloca que as propriedades da luz poderiam ser investigadas independentemente de sua visão sobre sua natureza. Afirmou ainda que uma hipótese com respeito à natureza da luz não era necessario para explicar sua "doutrina" das cores, já que ela sendo suficientemente e firmemente fundada nos experimentos era absolutamente infalivel. Dentro dessa situação vemos Newton dar um passo importante no sentido de esclarecer sua epistemologia: "...E em relação a esta afirmação, Newton fez seu primeiro pronunciamento sobre o método exato de procedimento cientifico. De acordo com ele, este método consiste na dedução das propriedades das coisas pelos experimentos e não por argumentação ou hipótese" (Sa-TLDN, pag. 274).

Sendo assim Newton intencionalmente inicia o Opticks (1704) da seguinte forma: "Meu Propósito neste Livro não é explicar as Propriedades da Luz por Hipóteses, mas propor e prová-las por Razão e Experimento" (Opticks, pag. 1).

Em uma de suas resposta a Pardies, Newton fala sobre a melhor maneira de filosofar e ao mesmo tempo expõe qual era a função da hipótese dentro da sua doutrina: "...Pelo melhor e mais seguro método de filosofar parece ser, primeiro, aplicadamente investigar as propriedades das coisas e estabelecê-las pelo experimento; e então prosseguir

mais lentamente para as hipóteses para explicá-las. Por hipótese se deve estar assentada (accomodari) meramente explicar as propriedades das coisas e não tentar predetermina-las (determinare), exceto na medida que elas passam a ser um apoio aos experimentos" (citado por Sa-TLDN, nota 25, pag.286; originais de Newton em correspondência com Pardies em 1672).

Disto vemos que para Newton as hipóteses não são admitidas quando elas são injustificadamente feitas para predeterminar as propriedades das coisas. Maneira pela qual Newton achava que seus opositores estavam o acusando de usar a hipótese sobre a corporeidade da luz.

Voltando à questão da corporeidade será necessário que se coloque a definição de raio de luz de Newton: "Por Raio de Luz, eu entendo suas Partes minimas, e aquelas também Sucessivas na mesma Linha e Contemporâneas em diversas Linhas."

Apesar de que inicialmente não esclarece o que seriam estas partes minimas, afirmando ainda que seu raio não era uma linha reta geométrica (Opticks, pag. 2), nas Questões do livro III, onde são feitas suas livres indagações sobre a natureza da luz, Newton coloca: "...Nada mais se requer para que os raios de luz sejam facilmente refletidos e facilmente transmitidos, além de que eles sejam corpos pequenos..." (Opticks, Qu. 29)

Ao falar sobre estes corpos pequenos que compunham para Newton não só a luz, mas todas as coisas inclusive o éter (Opticks, Qu. 21), Newton deixa evidente que foi

influenciado pelas idéias dos atomistas que consideravam que a matéria era composta de particulas duras e impenetráveis as quais eram dotadas de várias propriedades desde sua criação: "...parece provável que para mim, que Deus no inicio formou a matéria em particulas móveis, impenetráveis, duras, massivas e sólidas de tais tamanhos e formas e com tais outras propriedades, e em tal proporção no espaço, como conduzida para uma finalidade pela qual Ele as formou" (Opticks, Qu. 31).

V.2 - SUA METODOLOGIA (explicitada no Optikcs)

Newton esteve, em todo o Opticks, comprometido com o propósito apresentado na primeira página do mesmo: "Meu Propósito neste Livro não é explicar as Propriedades da Luz por Hipóteses, mas propor e prová-las por Razão e Experimento".

Mas quais os significados que podemos explicitar, na obra, para estes elementos epistemológicos como razão e experimento? O que seria ainda uma hipótese, neste contexto? O que seria uma explicação e de quais artifícios Newton utilizou-se para dá-las?

Das nossas leituras do Opticks e das leituras em história da ciência de comentadores da vida e obra de Newton, tentamos chegar a algumas respostas. Procuramos, ao tentar responder estas perguntas, uma interpretação do pensamento newtoniano sob o ponto de vista não-mecanicista, percebido em recentes historiadores como Dobbs, Westfall e Mc Mullin. Para nós, pensar a ótica de Newton do ponto de vista não-mecanicista significa nos permitir identificar aspectos de sua ótica ligados, por exemplo, à alquimia e a sua Teoria da matéria, e não apenas à mecânica. Pensamos que este ponto de vista é positivo a medida que nos permite perceber a complexidade das idéias envolvidas e entendê-las.

Das nossas três perguntas vamos começar por: O que seria uma explicação para Newton?

Explicação, para ele, não tem sentido de justificativa, de responder o porquê de um fenômeno ou encontrar suas causas. E nem ainda uma descrição do fenômeno, como seria responder a alguma pergunta do tipo: O que acontece? Explicação tem sentido de destacar como acontece, tomando em consideração processos onde estão sempre envolvidos em interação: corpos, forças como a Vis Inertiae e os "pricipios ativos".

Ao tentar dar este tipo de explicação para as propriedades da luz, Newton acabou por implantar uma metodologia através do Opticks. Nele, Newton a desenvolve dentro de uma estrutura muito clara utilizando-se das Definições, Axiomas, Proposições, experiências, observações e Questões.

Logo nas primeiras páginas do Livro I, Newton apresenta oito Definições que serão utilizadas frequentemente no decorrer da obra. Elas são a definção de raio de luz, refrangibilidade, reflexibilidade, ângulos de incidência, de reflexão e refração, e senos de incidência e refração.

Logo após as Definições que são a especificação dos elementos que serão utilizados, Newton apresenta 8 Axiomas. Os quais entendemos como aquilo que faz parte da intuição de Newton, que não vem de conjecturas sobre o que acontece, mas que vem da interação entre o pensamento e a realidade. Como estes axiomas não são comprovados experimentalmente, pois tem natureza diferente de um "Principio", Newton utiliza-se de uma linguagem cautelosa,

mostrando que não está afirmando algum "a priori" como indicador de respostas. Como exemplo o Ax. V: "O seno de incidência está ou precisamente ou muito próximo em uma dada razão para o seno de refração" (Grifo nosso). O mesmo axioma, quando passa a ser proposição, não apresenta a expressão "precisamente ou muito próximo".

As Proposições são apresentadas nos Livros I e II e algumas vezes são acompanhadas de experiêncis e/ou observações. As proposições tem carater muito particular, elas são os desenvolvimentos que, numa sintese, levarão aos "Principios" ou às leis, que são as peças fundamentais da fisica implantada por Newton. As proposições tem carater parecido com aquele dos axiomas, que é aquilo que vem da interação do pensamento com a realidade, só que, neste caso, elas estão assentadas especificamente na experimentação como prova.

Além disso, as proposições apresentam-se de três diferentes formas: As Proposições-Teorema que são aquelas que utilizam-se do experimento como prova. Exemplo, a Prop. II Theor. II (Opticks, pag. 26): "A luz do sol consiste de raios diferentemente refrangiveis". Para o qual Newton utiliza simplesmente nove experimentos como prova, indicadas por ele mesmo: "Prova por Experimentos". Em segundo apontamos as Proposições-Problemas que são sinteses de outras proposições que vão solucionar problemas especificos como o do arco-iris (Prop. IX Prob. IV - Opticks, pag. 168), e que às vezes, também trazem alguns experimentos novos. E, por fim, as Proposições simples que parecem ser

estabelecidas a partir da experimentação e do exercicio da razão, numa relação de interação entre as duas partes.

Dessa forma somos remetidos a primeira pergunta: O que será experimento e razão para Newton?

Uma epistemologia assentada na "razão e experimento" no sentido de Newton significa, para nós, delimitar precisamente o objeto de estudo fisico, considerando o conhecimento já desenvolvido e absorvido, e assim estudá-lo dentro de uma visão mais ampla do que apenas a visão mecânica no sentido do século XVII.

Assim identificamos claramente que Newton está, trabalhando com fenômenos do tipo esclarecido no Principia. Fenômenos que são aqueles acontecimentos naturais vistos sob as lentes da razão e da experimentação os quais levarão aos "Principios", que Newton considera como: "...Estes Principios Eu considero, não como Qualidades ocultas, supostas resultarem das Formas especficas das Coisas, mas como Leis gerais da Natureza, pelas quais as próprias Coisas são formadas; suas Verdades aparecendo-nos pelos Fenômenos, embora suas Causas ainda não estejam descobertas. ..." (Opticks, Qu. 31, pag. 401)

Por último, destacamos que Newton utilizou-se de um particular que foi as Questões apresentadas no Livro III, onde ele reservou a si mesmo o direito de indicar caminhos para novas pesquisas que viessem ser realizadas em outro momento histórico. Devemos destacar ainda que apesar de não apresentar na sua ótica uma teoria completa e fechada como aconteceu com sua mecânica, Newton conseguiu chegar a

uma visão completa e integrada das questões que faziam parte da ótica daquele momento vivido no século XVII.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho nos permitiu perceber a dimensão dinâmica do processo de construção do conhecimento tomando como exemplo a ótica de Newton.

Para nós, a ótica de Newton é um exemplo revelador do carater dinâmico da ciência a medida que a reconhecemos como resultado de uma série de formulações de questões, de esclarecimento de dúvidas, de discussões e de sucessivas revisões de vários pontos teóricos fundamentais. Resultado tal que mesmo não tendo respondido a várias questões emergentes naquele momento histórico, as quais envolviam o comportamento e natureza da luz, encaminhou respostas a serem encontradas por pesquisas ulteriores.

O processo de desenvolvimento da Teoria das Cores da Luz branca de Newton é exemplo da dinâmica de construção de uma teoria desde que mostramos que Newton chega a uma sintese de idéias e experiências presentes e passadas àquele momento histórico se apropriando delas e avançando no seu significado. Dessa forma ampliou sua compreensão no assunto no embate de pensamento com outros, principalmente com Huygens, Hooke, Descartes, Barrow e More.

Segundo De Broglie (Bro-ML, pag. 204-6) fenômenos tais como o efeito fotoelétrico e efeito Compton, que mostram-nos a existência de pacotes de energia luminosa de valor $h\nu$ em toda radiação de frequência ν, leva-nos a retornar à teoria da emissão corpuscular de Newton no caso

particular do fenômeno das franjas coloridas obtidas em filmes finos, os Anéis de Newton. Para tal fenômeno ele apresentou a Teoria dos "Fits" que admitia que os corpúsculos de luz uma vez tendo entrado em meio refringente seriam refletidos ou transmitidos alternadamente ou periodicamente por "fits" de fácil reflexão ou por "fits" de fácil transmissão.

A formulação da Teoria dos "Fits" mostra aspectos importantes da ótica de Newton como: A concepção corpuscular da luz não impediu que Newton considerasse a caracteristica periódica no comportamento da luz. A tentativa de conciliar o comportamento corpuscular e periódico expõe uma forte ligação do pensamento de Newton com o próprio fenômeno, e mostra ainda um grande "insight" na direção do futuro. As experiências com filmes finos mostra aspecto fundamental do trabalho experimental de Newton em ciência, a delimitação precisa do problema a ser estudado. E ainda permite-nos perceber que as dificuldades de transpôr barreiras teóricas-experimentais em certo momento histórico fazem parte da construção das ciência.

Conceitos como os de Éter e Principios ativos, fazendo parte de uma síntese sobre a natureza da luz, mostram a influência sofrida por Newton do pensamento neo-platônico e da alquimia que avançam na formulação de sua ótica.

Quanto ao <u>Opticks</u> podemos apontar que com o sucesso da teoria ondulatória da luz, a natureza corpuscular defendida por Newton tornou-se uma corrente de estudos em

segundo plano durante quase dois séculos. A teoria geométrica de frente de ondas de Huygens estava mais em harmonia com o influente programa cartesiano. Entretanto a obra de Newton influenciou vários óticos do século XVIII. Como exemplo podemos citar Young que foi extremamente explicito em declarar seus débitos ao trabalho experimental realizado por Newton: "As observações óticas de Newton são incomparáveis, e exceto algumas imprecisões casuais, elas somente sobem em nossa opinião quando nós as comparamos com posteriores tentativas de aperfeiçoá-las. Uma ulterior consideração das cores de filmes finos, como são descritas no segundo livro da ótica de Newton, tem transformada a predisposição a qual eu antes admiti para o sistema ondulatório da luz, em uma muito forte convicção de sua veracidade e suficiência; uma convicção que tem sido a mais notável confirmação pelas análises das cores de substâncias. ...Uma verificação mais cuidadosa dos vários escritos de Newton tem mostrado-me que ele foi na realidade o primeiro que sugeriu tal teoria como eu esforçarei em manter..." (citado por Bernard Cohen no Prefácio do Opticks, pag. XL).

O interesse renovado pelo Opticks não se limita apenas à Teoria dos "Fits" mas muitas vezes à compreensão de idéias de Newton cuja caracteristica principal é sua contemporaneidade.

Ernst Mach sublinha ainda que tais trechos do Opticks como este que foi apontado acima são suficientes para indicar Newton como "um padrão para todos os tempos no dominio da pesquisa experimental", no sentido de

caracterizar-se pela "destreza e precisão de seus testes experimentais, riqueza e autenticidade de suposições (conjecturas), e pela descoberta do poder de estimar o valor de seus dados experimentais" (Mach-PPO). Para que isso fosse possivel, entretanto, salientamos que foi necessário ter, não só uma profunda visão teórica, mas uma prática coerente e poderosa de interação entre pensamento e ação. Foi essa prática que implantou formas de fazer a fisica e uma concepção própria de ciência da natureza.

Além disso consideramos essencial reconhecer que Newton trabalhava com vários elementos que compunham diferentes visões de mundo, aparentemente antagônicas como no caso da Filosofia Mecânica e da Alquimia, construindo uma nova visão de mundo. Exemplo disso encontramos na questão da natureza da luz quando Newton tenta sintetizar os Principios mecânicos com os Principios ativos na explicação da interação da luz com a matéria e na transformação de uma na outra.

Enfim, reafirmamos que o Opticks de Newton, por todos os pontos concluidos acima, é um exemplo revelador do processo dinâmico da construção do conhecimento. Além disso é a parte da obra cientifica de Newton que mais claramente o mostra como um grande fisico sintetizador de uma filosofia mecânica poderosa, não-mecanicista, aliada a uma prática de experimentação fisica frequente e precisa. Apropria-se também de elementos fundamentais do pensamento alquimico, criando uma nova visão de mundo onde são levados em consideração as relações do homem com a vida e com o mundo.

Pretendemos que esta monografia, na dimensão que apresentamos, mostre aos alunos e professores diversos aspectos da construção do conhecimento tomando como exemplo a ótica de Newton. Aspectos que envolvem não só a formação da visão de mundo do pensador mas que envolvem também o próprio desenvolvimento conceitual original, a ligação forte entre a teoria e a experiência ou a diferenciação entre a física teórica e o formalismo matemático.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO
1596
e.1
INSTITUTO DE FÍSICA

APENDICE I

PANORAMA DA OTICA DESDE OS GREGOS ATE A RENASCENÇA

1 - A luz da ótica dos antigos pensadores

"Disse Deus: Faça-se a luz; e fêz-se luz."

Geneses 1:3

"Disse também Deus: Façam-se os luzeiros no firmamento do céu, que dividam a noite do dia e sirvam de sinal no tempo,..."

Geneses 1:14

"Disse também Deus: Façamos o homem nossa imagem e semelhança."

Geneses 1:26

Certamente não será em alguns versiculos de Geneses que encontraremos um tratado cientifico, mas como salienta Ronchi (Ro-NL, cap. I) causa-nos interesse que na Biblia, quando na criação do mundo, a luz tem precedência sobre o sol e sobre o homem, portanto tem existência independente de sua fonte e receptor. Verificamos aí uma idéia implicita sobre a luz cujos traços encontramos várias vezes nas "explicações" dadas pelos gregos para a luz, sua natureza e existência. Desta forma parece inevitável que os gregos voltassem suas atenções para este fenômeno.

A determinação da natureza da luz não parecia ser a tarefa colocada pelos gregos mas sim a explicação da sensação causada pela luz, a visão. Além disto a visão tinha uma importância filosófica fundamental pois o alvo para os

gregos era "aprender para entender o homem, suas faculdades e função" (Ro-NL, pag.4), e neste sentido a visão tinha uma posição privilegiada entre as faculdades humanas pois esta levava ao conhecimento, por conseguinte era importante responder à pergunta: -Como vemos?

A partir do século V aC., segundo Ronchi, existiu uma incessante tentativa de determinação daquilo que fazia a ligação entre o olho e o objeto visto. Os antigos pensadores não chegaram imediatamente a nenhuma prova ou hipótese da existência de alguma coisa chamada luz que ligasse os objetos vistos e o olho humano, mas chegaram a quatro "explicações" básicas: A ligação poderia ser devida a "alguma coisa" que era emitida pelo olho e viajava na direção do objeto; ou "alguma coisa" que viajava do objeto na direção do olho; ou até a coexistência das duas coisas viajando em sentidos contrários. Uma outra ligação foi imaginada sem movimento nem direção, mas meramente a modificação ou qualificação do meio interposto entre o olho e o objeto.

A Empédocles (500-430) é atribuído a mais primitiva formulação com respeito à natureza da luz. De acordo com ele, a luz era uma emanação originária de todos os corpos chegando ao olho. Considerava também que a estrutura da matéria deveria ser porosa, possuir pequenissimos buracos entre as particulas elementares sólidas. Sendo assim ele assumiu que as sensações eram sentidas quando certas particulas emitidas por vários corpos, entravam nos poros dos organismos sensiveis, que

eram arranjados de tal maneira que permitiam a passagem dessas particulas. No caso da visão, a luz seria a emanação de um fogo elementar externo que chegaria ao olho pelo espaço, da mesma maneira que o som chegava ao ouvido e o cheiro chegava ao nariz . Via ainda a possibilidade de haver alguma reciprocidade, isto é, deveria existir uma emanação de raios do interior do olho simultaneamente com a emissão direta do exterior para o interior do olho. Considerava portanto a existência de dois fluxos: Um exterior existindo por ele mesmo de natureza corpuscular, levando com ele a forma e cor do objeto; e outro interno, emitido pelo olho, necessário para completar a visão .

Dos pitagóricos tem-se poucas fontes com respeito às questões da luz, mas sabe-se que eles consideravam a visão como devida a um fogo que sairia do olho para tocar e revelar a forma e cor dos objetos.

Demócrito (460-360 aC.), apesar de ser contemporâneo de Empédocles, tinha idéias bem menos definidas. Sua idéia fundamental era que o ar interposto entre o olho e o objeto recebia uma impressão como resultado de pressão exercida por ambos olho e objeto sobre ele. E de todo objeto era emitida uma substância que sendo sólida, imprimia imagens nos olhos por serem estes molhados.

Estas questões iam sofrendo um vasto processo de discussão, de modo que, em certos intervalos de tempo, há uma evolução de idéias. Assim como acontece com as idéias de Platão (428-347 aC.) com respeito à luz que são encontradas em vários de seus diálogos.

Mc Donald, na Cosmologia de Platão (McDo-CP, cap. Sight), fala do olhar e do mecanismo da visão admitindo a existência de dois tipos de raios: um externo que viajava do objeto na direção do olho e outro interno que viajava na direção do objeto, sendo que ambos tinham mesma natureza, ou seja, um "fogo puro" como aquele que "flui da chama e não queima mas que dá luz aos olhos". A visão se dava então quando esses dois raios coalesciam.

Aristóteles não aceitava a hipótese da emissão de luz pelo olho, hipótese que na sua opinião era devida a Empédocles: "...Se o olho for feito de fogo como disse Empédocles, e como é sugerido no Timeo, e se a visão for produzida por meio de um fogo emitido pelo olho, como a luz é emitida por uma lanterna, por que então nós não somos capazes de ver no escuro?..."

E continua em sua critica a Empédocles e também a Platão: "...Dizer que a luz é extinguida pela obscuridade, como é afirmado no Timeo, é completamente sem sentido. Como a luz pode ser extinguida? Calor e secura são extinguidos por frio e umidade, e nós temos exemplos disto no fogo e na chama, os quais trazem o brilho e calor da chama do carvão. Nem calor nem secura parecem ser atributos da luz. Se estes se extinguissem e não fossem visiveis por causa de suas inatividades, ocorreria que num dia chuvoso, a luz seria extinguida e que num dia glacial teriamos escuridão, desde que isto é fato para as chamas e corpos incandescentes. Nada desse gênero acontece com a luz. ..." (Arist-FIS-SS, cap. II)

Além das criticas que, segundo Ronchi, foram mais claras que suas próprias idéias com respeito à luz, Aristóteles assim expressa no Anima quando fala da vista: "... luz não é fogo ou coisa corporal, nem emanação de algum corpo ...", mas sim "...ação da transparência" a qual "não depende nem da água como tal, mas do mesmo ente qualitativo encontrado tanto na água quanto no ar e na esfera acima de todos...". Luz, ainda é tipo de cor que, por sua vez, é uma "motivating force" sobre a "verdadeira" transparência. Para Aristóteles luz parecia ser o contrário de escuridão que é a "privação da qualidade na transparência." (Arist-AN, livro II, cap. VII).

O periodo vivido por Euclides, aproximadamente séc. II aC., é marcado por um grande número de idéias fundamentais como as que propiciaram o nascimento da ótica geométrica, fisica e fisiologia fundidos em um só conjunto de conhecimento. Os elementos geométricos, que foram os mais abatratos, adquiriram importância particular sobre os outros. Deixou-se de lado então as considerações sobre a natureza fisica, fisiológica e psicológica e a luz foi estudada somente com seus elementos geométricos. Estes representavam a estrutura retilinea dos raios emitidos pelo olho, as leis da reflexão e o curvar dos raios de luz por refração e todos os fenômenos da perspectiva. (Ro-NL, pag. 15 a 32)

Euclides foi um matemático seguidor de idéias de Platão e seus trabalhos matemáticos na ótica tiveram grande

influência no desenvolvimento das teorias sobre a luz. Realizou duas obras em ótica; o Optics e o Catoptrics.

No Optics preocupou-se mais com os fenômenos que envolviam a visão sustentando a teoria pitagórica de raios emitidos pelo olho. Estes raios emitidos viajavam em linha reta dentro de um campo visual que descrevia um cone que tinha seu ápice no olho do observador e na base o objeto. Criou o conceito de raio com direção de propagação da luz como uma linha elementar de luz. Estes raios tinham sempre a mesma velocidade. E apesar de considerar o olho apenas como um ponto, criou toda uma teoria para a visão baseada na idéia que a luz poderia ser tratada apenas geometricamente. Em sua Catoptrics trabalhou com a reflexão em espelhos planos e esféricos, chegando de forma primitiva às leis da reflexão e das imagens nos espelhos planos, côncavos e convexos.

Outro pensador importante na ótica antiga é Ptolomeo (~170 dC.). Em seus estudos sobre a luz trabalhou mais na linha da perspectiva e substituiu o cone de perspectica de Euclides por uma pirâmede com ápice no olho do observador. Acreditava que no interior da pirâmede se encontrava uma grande capacidade visual. Estudou também a visão binocular e a duplicação de imagem quando a pirâmede da esquerda não combinava corretamente com a da direita. Considerou que as cores eram uma camada superficial dos corpos e estudou a questão da avaliação do tamanho do objeto observado por combinação do comprimento da pirâmede de perspectiva e com as dimensões da base. Avançou ainda os

estudos da Catoptrics de Euclides com respeito às imagens produzidas por espelhos esféricos e os resultados de suas medidas com respeito à refração levaram-no ao estabelecimento da lei para tal fenômeno. Sendo assim deve ser considerado "mais do que um geômetra pois foram seus trabalhos e suas investigações experimentais, que o levaram a um grande conhecimento das propriedades da luz" (Ro-NL, pag. 24).

Lucretius, que viveu em Roma desde 99 ou 95 até 55 ou 51 aC., dá em sua única obra De Rerum Natura um exemplo de como a ótica andava naquele tempo. Pelo fato de ter usado uma terminologia variada tanto para a luz quanto para aquilo que se observava, mostra-nos quão indefinidas e variadas eram as idéias com respeito à luz e os fenômenos que a envolvia. Comparava a luz com o cheiro, calor e outras "emanações" do mesmo tipo, e concluiu que enquanto o primeiro não tinha obstáculos por conta de sua "delicadeza extrema", os outros eram difundidos e dispersados porque "eles não poderiam achar escapes retilineos para seus caminhos" (Ro-NL, pag. 29). Este mesmo agente foi tratado por ele por vários outros termos: lux, lumen, fulgor, splendor e claurs candor. O que significava, segundo Ronchi, no primeiro caso, lux, a condição de uma circunstância; fugor e splendor, claridade; lumen que era alguma coisa emitida pelo sol ocupando todo o espaço. Observando ainda que este lumen consistia de "particulas extremamente diminutas as quais lançavam-se no espaço ocupando-o rapidamente" (Ro-NL, pag. 32).

Não só de maneira geral na ótica mas do ponto de vista de alguns assuntos especificos como a propagação retilinea da luz, a reflexão e refração, a contribuição dos antigos pensadores tem importância significativa.

Quanto à reflexão, a primeira formulação explicita da lei da igualdade dos ângulos de incidência e o de visada foi alcançada por Euclides na sua Optics, mas Sabra aponta que antes de Euclides já tentavam explicar a reflexão ótica em termos mecânicos, neste caso o objeto lançado contra uma superficie resistente retornava devido ao movimento que tinha sido comunicado a ele pelo lançador. A superficie mudava a direção do movimento do corpo incidente (Sa-TLDN,pag. 69).

Sabra aponta ainda que Heron de Alexandria (75 dC.) falou brevemente sobre condições mecânicas para a reflexão dos raios visuais. Heron observou que corpos duros rebatiam o movimento dos projéteis enquanto corpos macios, tal como a lã, detinha-o. Neste caso vidro e água refletiam raios somente parcialmente por causa das irregularidades de suas supreficies. Estas consistiam de partes sólidas que rebatiam os raios que caiam sobre elas e de partes porosas que os deixavam passar (Sa-TLDN, pag. 70).

Mas dos pensadores antigos foi Ptolomeo (170 dC.) que provou a lei da reflexÃo experimentalmente observando que os raios que caiam perpendicularmente à superficie do espelho eram lançados de volta na mesma linha, enquanto que os raios chegando tangencialmente à superficie continuavam se movendo sem serem defletidos. E nos casos intermediários

entre os dois extremos, os raios eram refletidos na direção simétrica a de incidência. Para esta, Ptolomeo tentou também dar uma explicação mecânica comparando os raios de luz com projéteis rebatidos (Sa-TLDN, pag. 71).

Quanto a propagação da luz, antigos pensadores como Aristóteles defendiam que esta era retilinea e instantânea. Entre as criticas de Aristóteles a Empedocles uma reside na idéia da propagação da luz. Empédocles afirmava que a luz do sol alcança ponto intermediário antes de chegar à vista ou à terra, ou seja, a luz gastava um certo intervalo de tempo para sair da fonte luminosa e chegar aos olhos do observador. Para Aristóteles a luz ocorria instantaneamente e não tinha movimento: "...a luz é devida a existência de algo, mas não de movimento..." (Arist-FIS, cap. 6).

Segundo Sabra, luz para Aristóteles "não era, como para Empédocles, um material fluido, o qual jorrava dos objetos luminosos com velocidade infinita; mas era uma modificação de um meio transparente que, de acordo com ele, era nacessário para a transmissão". Contrariamente de um processo ou movimento, era um estado ou qualidade adquirido pelo meio. (Sa-TLDN, pag. 46)

Muitos outros pensadores foram influênciados pela idéia da propagação instantânea da luz de Aristóteles. Uma "notável excessão" foi Alhazen (1039 dC.) que afirmava que o movimento da luz requeria um intervalo finito de tempo, praticamente imperceptivel. Mesmo pensadores do final da Idade Média como Robert Grossetest e Witelo e mais tarde

Kepler e Descartes sustentavam a idéia aristotélica. (Sa-TLDN, pag. 47)

Na refração que não parecia ter explicação tão evidente quanto a reflexão, existiram algumas contribuições. Ptolomeo foi o primeiro a fazer um estudo experimental entre a mudança de direção da luz ao passar de um meio para outro, e a diferença de densidades entre os meios envolvidos. Mas estas idéias de Ptolomeo só foram reexaminadas quando tornaram-se base da teoria de Alhazen da refração que teve papel significativo. A questão da refração só foi parcialmente resolvida no século XVI com Descartes, que explicitou corretamente a variação dos ângulos de incidência e de refração com as velocidades da luz em diferentes meios, a Lei dos senos (Sa-TLDN, pag. 93).

2 - A ótica da Idade Média

Existe um grande contraste entre as idéias cientificas do inicio da Idade Média, séc. V e VI, e as idéias dos sécs. XII e XIII. No inicio prevalecia a visão tradicional das idéias dos gregos que haviam permanecido no Ocidente Cristão desde a queda do Império Romano. No final as idéias dos antigos gregos e árabes foram revistas.

Os filósofos do primeiro periodo da Idade Média tratavam o conhecimento sobre a natureza material com certa secundariedade já que ao contrário do objetivo da ciência grega antiga que era "compreender o homem, sua função e natureza", substituiram esta curiosidade pelo "desejo de uma paz impermutável conquistada somente pela mente liberta das

dependências da matéria e da carne" (Cro-HC, Vol. I, pag. 28).

Neste panorama não seria estranho que o interesse nos problemas práticos tivessem tomado grande importância. Neste sentido o estado do saber cientifico latino, antes das traduções grego-árabe, estava altamente influênciado pelos problemas práticos na conservação do hábito de observação.

As fontes de idéias eram principalmente as obras de Santo Ambrósio, Santo Augustinho e outras obras latinas sobre calendários. As áreas mais desenvolvidas foram a astronomia, teorias de calendários e posteriormente em meados do séc. X a medicina.

No séc. XI surgiu outra tendência que não a de interesses em problemas práticos, contribuindo para "mudar o simbolismo moralizante por outra maneira diferente de aproximação ao mundo da natureza", significando então uma "mudança na perspectiva filosófica". Essa mudança era sair de uma visão tradicional onde era "melhor atribuir todas as operações do universo a Deus" e ir em busca das "causas naturais". Sendo assim, "dos efeitos dessa mudança de perspectiva, do número crescente de trabalhos práticos e do redescobrimento das obras gregas através da relação com os árabes", surge uma mudança do homem em relação à natureza: "o homem no inicio mirava a natureza para encontrar ilustrações, e depois começou o estudo da natureza por si mesma" (Cro-HC, Vol. I, pag. 37 e 38).

Quanto às contribuições dos árabes, apesar de trazer certa estranheza entre historiadores, Crombie dedica-

se a eles parte significante de sua obra. Para ele, os árabes adquiriram o conhecimento grego a partir das fontes, isto é, obras realizadas no Império Bizantino e também dos cristãos nestorianos, Pérsia oriental - Siria. Os cristãos nestorianos durante os séculos VI e VII fizeram importantes traduções de obras gregas em lógica e medicina. Isto quer dizer que os árabes faziam traduções do grego e do sirio para o árabe. E a infiltração das obras gregas recompiladas e comentadas pelos árabes no ocidente cristão começou a ocorrer quando surgiram as relações comerciais entre o cristianismo e o Islan. E por volta dos séculos XI e XII Tolêdo transformou-se em centro de traduções de árabe para o latim.

No século XIII começaram as traduções diretas do grego para o latim e Roger Bacon escreve a primeira gramática greco/latina. Guilhermo de Moerbeke reviu e traduziu, nesta época, quase toda a obra de Aristóteles, e no séc. XIV cessaram as traduções do árabe para o latim. E das obras traduzidas a de Aristóteles tem significativa importância na estruturação das bases da ciência da natureza.

Certo também que a interação entre o mundo cristão e o árabe não constituiu em apenas redescobrir a obra grega. Outras contribuições, algumas de grande valor, foram obtidas pelo ocidente nesta interação: uma delas foi a astronomia ptolomaica e a trigonometria associada e também o conhecimento com respeito à medicina que procedia de Hipocratus e Galeno através dos estudos e compilações de Ali

Abbas, Avicena e Rhasis. Não faltaram contribuições originais a ótica e a perspectiva onde informações de Euclides e Ptolomeo chegaram no ocidente através de Alkindi e Alhazen.

O sistema aristotélico, apropriado pelos árabes, era mais do que uma ciência da natureza, era uma filosofia completa que abarcava todas as coisas existentes desde a matéria prima até Deus. E esta foi a própria causa da grande oposição pela cristandade ocidental em absorver as idéias de Aristóteles na interpretação árabe, já que os cientistas ocidentais possuiam um sistema baseado em dados revelados na religião cristã.

Para cessar a oposição a Aristóteles nos séculos XII a XIV, buscaram-se meios para uma conciliação entre a filosofia aristotélica e a teologia cristã, e isto deu inicio a elaborações importantes na filosofia e ciência. Uma das linhas que possibilitou tal aceitação foi a linha moderada representada principalmente por San Tomás de Aquino a qual consistia em aceitar a racionalidade da ciência, mas negava que poderia se discutir a necessidade de Deus. Ao contrário da linha latina de influência árabe, Averroes, que fixava sua posição sobre a verdade irrefutável, racional, da filosofia aristotélica e acentuava a irracionalidade da teologia cristã da época.

Em 1260 durante o último periodo da Idade Média, Guilhermo de Moerbeke, discipulo de San Thomas Aquino, traduz a obra de Aristóteles do grego para o latin, marcando a data de surgimento do "novo Aristóteles". Este novo

Aristóteles entra em Oxford sem oposição oficial e Robert Grossetest foi um dos responsáveis por essa aceitação.

O último período da Idade Média é tido como uma época de transição, considerando que apresentava características ligadas às épocas medievais anteriores e, ao mesmo tempo, características que propiciaram o surgimento de uma nova era, a Idade Moderna, tanto no que diz respeito às questões internas quanto às externas à ciência.

A ótica da Idade Média Tardia sécs XIII, XIV e início do séc. XV tomou características diferentes da ótica antiga. De modo geral podemos dizer que alguns fatores fundamentais proporcionaram esta caracterização da ótica da Idade Média. Um deles foi a influência recebida dos árabes através de obras importantes como as de Alkindi, Alhazen e Averroes que desenvolveram a ótica grega numa ótica árabe. Alhazen (965 - 1039) por exemplo teve sua obra convertida em "fonte principal da ótica física e fisiológica do Ocidente Medieval" (Cro-HC, Vol. 1, pag. 98).

Filósofos cristãos dos sécs XIII e XIV, conhecedores das principais obras árabes como as de Alkindi e Alhazen na ótica e Avicena na medicina e química, tiveram grande importância na ótica de Roger Bacon e Teodorico de Freiburgo.

O primeiro filósofo cristão a estabelecer e utilizar uma "teoria sistemática e coerente da investigação experimental e da explicação racional" foi Robert Grossetest, fundador da tradição do pensamento científico na

Oxford medieval, acreditava na impossibilidade de estudar o mundo físico sem matemática (Cro-HC, Vol. 1, pag. 98).

Para Grossetest a luz era a primeira forma corpórea e o primeiro princípio de movimento pelo qual as operações ou "becoming" das coisas naturais eram causadas. Sustentava que a propriedade característica da luz era sua abilidade de propagar-se instantaneamente em linha reta em todas as direções sem perda de sua substância e que dessa expansão da luz a própria extensão do universo era gerado. Sustentava ainda que no início dos tempos Deus tinha criado do nada a matéria uniforme, matéria pura, e a luz (lux) que por auto difusão tinha produzido as dimensões do espaço e então todas as coisas subsequentes. Por estas razões, Grossetest acreditava que o estudo da ótica era a chave para o entendimento do mundo físico (Cro-RG, pag. 104).

De acordo com Crombie, o lux de Grossetest como primeira forma corpórea tinha duas funções essenciais no mundo físico: ser a base da extensão em dimensão espacial, e ser a causa física original de todo o movimento ou mudança na natureza. Assim o lux como primeira forma corpórea não significava naturalmente apenas luz visível. Como uma emanação ou propagação de substância e de poder, lux era a base de toda magnitude corporal e de todas as operações naturais das quais a manifestação da luz visível era somente uma. Sendo assim os estudos em ótica de Grossetest davam atenção especial à esta manifestação do lux que era a luz visível (Cro-RG, pag. 107).

Grossetest foi o primeiro medieval a discursar sistematicamente sobre as propriedades dos espelhos, lentes e sobre o arco-iris. Para seu conhecimento em ótica ele contou com a Meteorologia de Aristóteles, a Optica e a Catoptrica de Euclides, a Optica atribuida a Pitolomeo, a Canon de Avicena, a De Aspectibus de Alkindi e comentários de Averroes da Fisica e da Meteorologia de Aristóteles.

A De Iride de Grossetest contem três partes (Cro-RG, pag. 120 a 234) . Na primeira ele preocupa-se com a visão, e nas segunda e terceira partes com os espelhos e lentes nas quais introduziu a matemática. Tentou tratar quantitativamente a refração, mostrando conhecimento da obra de Ptolomeo e propôs uma "lei" para ela, segundo a qual o raio que passava de um meio menos denso para outro mais denso fazia tal ângulo com a perpendicular, que passava pelo ponto de incidência, que era a metade do ângulo que o raio fazia com a mesma prependicular.

Grossetest ao contrário de Aristóteles que tentou explicar o arco-iris pela reflexão da luz pelas gotas de nuvem, tentou explicar a forma do arco-iris e a ação das lentes esféricas ou "cristais ardentes" pela refração da luz: o raio solar refratava-se duas vezes uma ao entrar na lente outra ao sair do lado oposto; e na combinação das refrações os raios encontravam-se em um ponto, o foco. No caso o arco-iris era formado por uma série de refrações da luz "no meio de uma nuvem convexa". Apesar de descordar de Aristóteles neste ponto, concordou com ele considerando na sua teoria de que o arco-iris aparecia como uma parte da

circunferência de base em um cone, que tinha o sol no seu ápice e em um eixo central, no lado oposto estava o olho do observador. Na sua explicação para o arco-iris formado pelas sucessivas refrações da luz do sol através das camadas da névoa da atmosfera, "a nuvem como um todo agia como uma longa lente" que focalizava o sol.

Uma contribuição de Grossetest que Crombie menciona é sua teoria geométrica da propagação retilinea da luz e do som como uma série de ondas e vibrações. Grossetest descreveu que ao golpear um corpo sonoro, este é colocado a vibrar durante um certo tempo e por um "poder natural" as partes são alternadamente enviadas para trás e para frente, cada uma sobre-passando sua posição natural. O mesmo acontecia com a luz cujas vibrações eram transmitidas à luz fundamental incorpórea como a "primeira forma corpórea". Dizia ainda que as vibrações produzidas pelo golpeamento do corpo sonoro propagavam-se em todas as direções em linha reta. Além disso se estas se chocassem com alguns obstáculos deviam expandir na direção oposta, no que consistia o eco (Cro-HC, Vol. 1, pag. 99).

Koyré também reconhece a importância de Grossetest quando diz que a "metafisica da luz de R. Grossetest, da qual este faz o fundamento da fisica, constitua a primeira etapa do desenvolvimento da ciência matemática da natureza" (Ko-EH, pag. 71).

Crombie considera que Roger Bacon como discipulo de Grossetest, embora provavelmente nunca tenha assistido às suas conferências.

Na parte experimental Bacon vez uma série de pequenas contribuições das quais muitos experimentos foram repetições daqueles feitos por Alkindi e Alhazen. Parecem ser originais os experimentos que determinavam a distância focal de um espelho concavo iluminado pelo sol, descrevendo também que os raios solares que chegavam à terra podiam ser tratados como paralelos, em vez de divergentes a partir de um ponto, dando assim uma explicação mais adequada ao fato de se conseguir fazer chamas com "lentes ardentes" e espelhos parabólicos.

Para a propagação da luz, Bacon deu uma explicação parecida com a de Grossetest dentro da teoria da "multiplicação das espécies" que era um "processo de autogeração do lux" e que tinha uma analogia com o som de maneira que a "luz não era o fluxo de um corpo mas uma pulsação" (Ko-EH, pag. 63). Essa tal "espécie" era a luz visivel e portanto teria que ser estudada pela ótica geométrica. A propagação dessa "espécie" tinha na sua essência a teoria de Grossetest, isto é, esta ocorria por meio de vibrações, como o som, propagado parte a parte porém mais rapidamente que ele.

Bacon deu uma melhor descrição da anatomia do olho e dos nervos óticos do que autores anteriores. Esta descrição foi resultado do interesse justificado de Bacon no olho e seu funcionamento na visão: "por meio dele (olho), nós investigamos pelo conhecimento experimental de todas as coisas que estão no céu e na terra" (Cro-RG, pag. 151). Sua contribuição principal foi tentar explicar a operação do

olho. Mostrou como o olho focalizava as "espécies" de luz que entravam nele. Primeiro descreveu o arranjo anatômico de suas partes. Seguindo Avicena descrevia o olho com três camadas e três humus, i.é, a córnea, a conjuntiva e a retina e os humus glacialis (lentes), humus albigineos e o humus vitreo.

Com respeito ao arco-iris Roger Bacon começou por reunir fenômenos semelhantes ao do arco-iris: cores nos cristais, na água pulverizada produzida pelos moinhos e pelos remos batendo na água iluminados pelo sol, as cores vistas através de uma tela e através das pestanas, e examinou que o mesmo arco-iris aparecia na presença de nuvem ou bruma. Da combinação de suas observações e medidas com o astrolábio pôde mostrar que o arco-iris aparecia sempre do lado oposto oa sol e que o olho do observador, o centro do arco-iris e o sol estavam sempre na mesma linha reta. Mostrou que os raios que iam do arco até o olho formavam um ângulo de 42 graus com os raios incidentes do sol, e explicou ainda, a formação do arco-iris pela reflexão sucessiva da luz solar pelas esféras de água das nuvens, cuja explicação era diferente daquela das refrações sucessivas de Grossetest. Retomou então a visão aristotélica de que o arco-iris era produzido por reflexões dos raios solares por milhares de gotas de chuva.

Witelo (1230) (Cro-RG, pag. 216 a 235) foi influênciado por Grossetest e Bacon na sua metafisica da luz, apesar de não ter se referido a estes em sua

Perspectiva que foi de fato um livro texto de ótica largamente baseado na Optica de Alhazen.

Witelo descreveu experimentos parecidos com os de Ptolomeo para determinar os valores dos ângulos da luz ao passar para o ar, água e vidro com ângulos de incidência de 10 a 80 graus. Para tal parece que adaptou um arranjo descrito por Alhazen que consistia de um recipiente cilíndrico cujo interior ia gravado um círculo dividido nos 360 graus e minutos. Os meios refringentes eram introduzidos adequadamente no cilindro e as medidas se faziam por meio de uma mira e pelos extremos do cilindro graduado. Realizou também experimentos com cores do espectro produzidos por luz solar passando através de cristais hexagonais. Segundo ele a gama das cores era produzida uma destribuição da luz branca ao se refratar. Tentou também explicar o aparecimento do arco-iris, e para tal construiu uma teoria que mostrava que "os raios podem ser concentrados em uma requerida maneira por várias coleções de gotas de chuva dispersas". De acordo com ele, cada um dos círculos coloridos concêntricos aparecidos no arco-iris eram produzidos por um cone de raios refletidos para o olho do observador das gotas de água em diferentes regiões da névoa". Afirmou ainda que a luz que produzia o arco-iris era refratada tanto quanto refletida pelas gotas esféricas de água na atmosféra. A parte da circunferência da base do cone acima do horizonte parecia como um arco colorido brilhante, porque os raios do sol eram concentrados, por refração através das gotas individuais agindo como uma grande lente esférica; nas superfícies

exteriores das gotas os raios eram refletidos na direção do olho do observador.

Dentro da questão da explicação das cores espectrais da luz que teve seus primeiros estudos assentados no estudo do arco-iris, de acordo com Ernst Mach em seu The Principles of Physical Optics e o próprio Crombie, Teodorico de Freiburgo, monge dominicano germano (morreu em 1311), independentemente de contemporâneos árabes cujos escritos tornaram-se conhecidos na Europa do séc XV, deu pela primeira vez (em 1310) uma solução satisfatória para o arco-iris que era uma problemática central na ótica daquele tempo.

Teodorico de Freiburgo divide seu De Iride et Radialibus Impressionibus em quatro partes (Cro-RG, pag. 241 a 256). Uma primeira na qual ele fala sobre as "impressiones radiales" como a luz. E as outras partes dedicadas ao arco-iris primário e secundário.

Ao iniciar a discussão sobre a natureza da luz, Teodorico coloca a questão: "De que maneira a luz é espalhada e o calor distribuido sobre a terra?" De acordo com ele a luz é uma qualidade real em forma de meio transparente. "A luz não era ela mesma um poder ativo, mas o resultado de uma disposição ativa do meio para agregar suas partes na presença de um corpo luminoso, e esta disposição era a eficiente causa do brilho". Nesta parte de seu tratado, Teodorico ainda tratou das cores, mantendo a idéia de seguidores de Aristóteles que diziam que existiam quatro

cores reais intermediárias entre o branco e o preto, i.é, o vermelho, amarelo, verde e azul.

Teodorico tentou investigar as cores mostrando que as mesmas cores do arco-iris poderiam ser vistas ao passar luz através de recipientes de cristal e cheios de água, e através de cristais hexagonais. Em suas experiências com cristais esféricos descobriu que a parte da luz incidente era refletida na superfície interior da esfera. Uma segunda descoberta foi mostrar que quando uma esféra era mantida em uma posição conveniente em relação oa sol e o olho, e nem o olho nem a esféra eram levantados e abaixados então diferentes cores eram vistas de acordo com esta posição, concluindo que as diferentes cores do arco-iris deveriam vir de refrações e reflexões ocorridas nas gotas de água da atmosfera. E em terceiro mostrou que das cores emergentes depois de uma simples reflexão interna, existia outra "corrente de luz" colorida que tinha sofrido uma segunda reflexão interna antes de ser refratada para fora da esféra. Esta segunda "corrente de luz" aparecia com suas cores em ordem invertida comparando com a primeira. Esta segunda corrente tinha a mesma causa do arco-iris secundário.

Na discussão sobre o tamanho do ângulo entre o arco-iris mais baixo e o olho Teodorico errou em discordar das medidas de Bacon e Witelo que era de 42 graus e afirmar que este era de 22 graus. As descobertas e experimentações citadas acima formavam a base da explicação de Teodorico para o arco-iris que é comumente atribuida a Descartes e cuja "exposição matemática foi certamente superior em todos

os aspectos" (Cro-RG, pag. 105). Para Teodorico, o primeiro arco-iris era produzido pela luz que caia sobre as gotas esféricas de água, sendo refratada em cada gota, refletida em sua supreficie interna e novamente refratada para fora da gota. E o segundo era resultado de uma segunda reflexão interna.

Crombie cita ainda, no nascimento da ciência moderna no séc XVI, dois italianos que tiveram grande participação no desenvolvimento do conhecimento sobre o arco-iris. Um foi Francesco Maurolico (1494-1575) que apresentou sua explicação para o arco-iris na sua Diaphaneon (1533) e o outro foi Marco Antônio de Dominis (1566-1624) que fez o mesmo em sua De Radis Visus (1611). Parece provável que ambos conhecessem o trabalho de Teodorico, apesar de ambos só citarem Bacon e Witelo.

Mas foi Descartes, com seu Les Méteores (1637), o primeiro a dar, depois de Teodorico de Freiburgo, uma explicação para o arco-iris que pudesse ser comparada em completeza com aquela apresentada na De Iride de Teodorico (Cro-RG, pag. 273-4).

Descartes deu a mesma explicação que Teodorico para o arco-iris, isto é, ele era obtido pelas reflexões e refrações do raio de luz nas gotas de água. Descartes ainda mediu corretamente os ângulos para o arco-iris primário e para o secundário, respctivamente 42 e 52 graus. Apontamos aqui que estes dados de estão de acordo com os considerados hoje, apesar de que são considerados, hoje, na direção oposta, mede-se na direção do observador para o sol. Isto é

para o primeiro arco-iris o ângulo medido é 180 - 42 = 138 graus (Nus-TR, pag. 116-119).

Além de trabalhar com cristais esféricos, trabalhou com prismas tentando explicar as cores produzidas na refração. Mas a mais importante contribuição que Descartes deu à teoria do arco-iris foi "depois de considerar a luz do sol incidente consistindo de raios paralelos, calcular por meio da lei da refração formulada por ele, uma tabela de ângulos de desvios com diferentes ângulos de incidência sobre as gotas esféricas de chuva; e apontar que existia um ângulo de desvio minimo no qual os raios emergiam quase paralelos e portanto alcançavam o olho do observador numa maior concentração".

A aproximação clássica de Descartes para o arco-iris é considerada certa até hoje, apesar de existirem aproximações não clássicas para explicar os outros arco-iris além do primário e o secundário conhecidos e observados até a época de Descartes.

3 - A ótica dos séculos XVI e XVII

O século XVI é marcado pelo florescimento de novas relações sociais e econômicas e de progresso do conhecimento e da técnica não só no universo cientifico, mas também no que diz respeito à religião, às letras e artes, à construção, navegação e agricultura proporcionadas por diversas condições da sociedade européia. Dessas condições temos por exemplo o avanço tecnológico iniciado aproximadamente no século XV com a invenção e proliferação

dos relógios mecânicos, óculos e bússola de navegação; a invenção do papel e da imprensa com tipos móveis que proporcionou um aumento na produção de livros e publicações de tratados. Com o desenvolvimento dos diversos processos de impressão uma profusão de saber é derramado sobre os europeus.

O progresso cientifico ocorrido nesta época está diretamente ligado ao tipo de investigação que era realizada a qual, segundo Crombie, estava centrada na "realização de perguntas dentro de uma resposta experimental, limitada a problemas fisicos mais do que metafisicos, concentrando atenção na observação cuidadosa das espécies das coisas no mundo da natureza e o comportamento de uma em relação à outra, e principalmente nos aspectos do mundo fisico que poderiam ser expressos em termos matemáticos" (Cro-HC, Vol. 2, pag. 113). Em suma, o progresso cientifico nestes séculos produziu-se sob dois aspectos essenciais: no experimental e no matemático.

Duas obras publicadas no séc. XVI, a De Humanis Corporis Fabrica de Andreas Versalius (1514-64) e a De Revolutionibus Orbium Coeslestium de Nicholas Copérnicus (1473-1543) tiveram importância fundamental no processo de evolução do conhecimento cientifico.

Copérnico é o "melhor exemplo de homem que revolucionou a ciência mirando com novos olhos os velhos feitos". Em sua De Revolutionibus atribuiu ao movimento diário dos corpos celestes à rotação da terra sobre seu próprio eixo; e ao movimento anual à revolução da terra ao

redor do sol que ficava estático no centro das órbitas do sistema planetário (veja Fig.9, Apêndice II). Assim "foi postulando o movimento anual da terra que Copérnico realizou seu grande avanço estratégico teórico de uma reforma na astronomia dos estudos medievais e abriu caminho para um completo desenvolvimento matemático de um sistema de mundo" (Cro-HC, Vol. 2, pag. 152 e 153).

A De Fafrica do considerado pai-fundador da anatomia moderna, o holandês Andrea Versalius, foi realizada num ambiente de investigações práticas produção literária, aspecto autenticamente revolucionário. Suas ilustrações mostravam quão estreitas eram as relações entre a biologia descritiva e a arte naturalista. "As ilustrações da De Fabrica vão mais além do mero realismo... A assombrosa série que representa a dissecação de músculos é, em vez de, uma exibição detalhada das relações entre as estruturas e funções dos músculos, tendões, joelhos e articulações, uma dança da morte, um drama representado por um cadáver sustentado por um gancho sobre uma tela de fundo de uma paisagem" (Cro-HC, Vol. 2, pag. 243-4) (veja Fig.10, Apêndice II).

A primeira metade do séc. XVI parece ter sido de pouca produção na ótica exceto pela obra do italiano Francesco Maurolico (1474-1575), sua Diaphonean publicada em 1533. A Diaphonean permaneceu desconhecida até sua publicação póstuma em 1611 porque continha idéias avançadas que só foram entendidas mais tarde com a invenção do

telescópio e da ótica de Kepler (dados obtidos em Ro-NL, pag. 99, 106-7).

O Magia Naturalis de Della Porta, publicado pela primeira vez em 1558, foi um livro que gozou de grande popularidade e teve diversas publicações do original em latin, além das várias traduções para o italiano, francês, espanhol, alemão e até para o árabe. O Magia Naturalis é tido como um livro popular, uma coleção de truques, jogos e mágicas, razão pela qual Porta decidiu incluir nele alguma coisa sobre lentes. Sobre lentes, Ronchi reconhece uma suposta descrição do telescópio, contida no livro XVII do Naturalis, o qual só aparece pela primeira vez, na Holanda, aproximadamente em 1604, a partir de cópias feitas daquele construido na Itália em 1590 (Ro-nl, pag. 78).

Johannas Kepler (1571-1630), ótico, matemático e astrônomo, publica seu Ad Vitellionem Paralipomena em 1604 no qual expõe muitos conceitos fundamentais da ótica. O Paralipomena é uma obra que teve grande importância durante as mudanças na direção da ótica a partir de 1610. Este livro consiste de onze capitulos dos quais os seis últimos são reservados às questões da astronomia e os cinco primeiros às questões da natureza da luz, aos principios básicos da reflxão, à localização de imagens, à medida da refração e ao mecanismo da visão. Segundo Ronchi, Kepler retoma muitas idéias de Alhazen, desenvolvendo-as na sua essência sem tentar conciliá-las com idéias da ótica medieval ou adotá-las (dados obtidos em Ro-NL, pag. 87 a 95).

No capitulo 1 do Paralipomena Kepler preocupou-se com a naturza da luz. Definiu o raio luminoso o qual foi adotado pela geometria e atribuiu à luz uma velocidade infinita. Para ele o raio de luz era "movimento puro e não tinha consistência" e que esta mesma luz que movia era uma "entidade bidimensional, isto é, uma superfície". No capitulo 2 estes raios são usados para explicar a camera escura a qual Kepler declara ter aprendido do Nagia Naturalis de Della Porta. No capitulo 3, onde Kepler "conquista um dos pontos mais altos de sua ótica", preocupa-se com a formação de imagens, por exemplo as imagens que nós vemos. "O olho recebe os raios e de suas estruturas ele deduz onde podem ser achados os objetos que os emitem". Considera então "a visão binocular e mostra como a convergência das linhas vistas faz possivel determinar a posição do ponto radiante, notando que este na realidade era um processo de triangulação". No capitulo 4 preocupa-se com as medidas da refração e discursa sobre a refração na atmosfera. Kepler, apesar de ter realizado um grande número de medidas da refração, não conseguiu chegar a uma lei geral para tal fenômebo, concluindo somente para ângulos menores que 30 graus o ângulo de incidência era proporcional ao ângulo de refração. No capitulo 5 encontra-se outra parte importante de sua obra que é a precisa descrição da anatomia do olho. No capitulo 6 termina sua ótica com a história dos estudos a respeito do mecanismo da visão, onde Kepler reconhece Della Porta como sua fonte inspiradora (dados obtidos em Ro-NL, pag. 88 a 92).

O Diaphoneon de Maurolico é um livro interessante de ser lembrado pois sendo diferente de seu tempo aproximou-se em alguns aspectos do Paralipomena de Kepler e em outros ao Magia de Della Porta, apesar de que nenhum dos dois o citaram, e ao mesmo tempo trazia uma discussão sobre o arco-iris, desenvolvida no final da Idade Média. Segundo Ronchi este pequeno livro de 84 páginas contém em estudo sobre sombras e sobre a passagem dos raios de luz através de buracos, incluindo uma explicação para as manchas redondas produzidas pela luz sob as folhagens das árvores. Contém também um estudo sobre a reflexão em espelhos planos, esféricos, côncavos e convexos, cilíndricos e piramidais. Numa terceira parte estuda a refração em bolas de cristais cheias de água e em prismas paralelos, apresentando nas últimas páginas suas idéias sobre o arco-iris em forma de 24 Questões.

Com as obras de Della Porta, Kepler, Maurolico e com o telescópio de Galileu (1565-1642) que apesar de nunca ter gastado muito tempo com a ótica chegou a escrever sobre a "essência da luz", a ótica toma rumo mais definido esclarecendo qual era seu objeto de estudos: o "lumen" que era emitido por fontes luminosas e propagava-se em linha reta e era emitido em todas as direções de cada ponte da fonte; era absorvido por corpos opacos e refletido por corpos brilhantes, difundido por corpos rugosos e transmitido por corpos transparentes; além disso, carregava com ele o calor; e "lumen" era o que chamamos hoje de luz.

O século XVII é um momento brilhante para a ótica. Inicia-se com a questão do mecanismo da visão corretamente trabalhada e com a teoria geométrica das lentes bem estabelecida. Além disso, na ótica geométrica, Snell(1591-1626) e Descartes (1596-1650) foram bem sucedidos em dar a forma exata para a lei da refração a qual se tornou, no momento, "a arma mais poderosa no estudo dos fenômenos óticos do ponto de vista geométrico e ao mesmo tempo foi um argumento de grande valor na verificação das várias teorias com respeito à natureza da luz" (Ro-NL, pag. 112). Assim, considerando que a discussão sobre a natureza da luz era tão antiga quanto a própria questão da refração dos raios de luz, o século XVII é marcado por ter colocado esta questão como sendo seu principal objeto de estudo, ou seja, marca o nascimento da ótica física.

Apesar do nascimento da ótica física ser marcado pelos finais do séc. XVII com Newton e Huygens, verificar as contribuições que imediatamente antecederam suas obras é fértil, na medida em que as reconhecemos como fatores que propiciaram a realização do <u>Opticks</u> de Newton e do <u>Traité de la Lumière</u> de Huygens.

APENDICE II

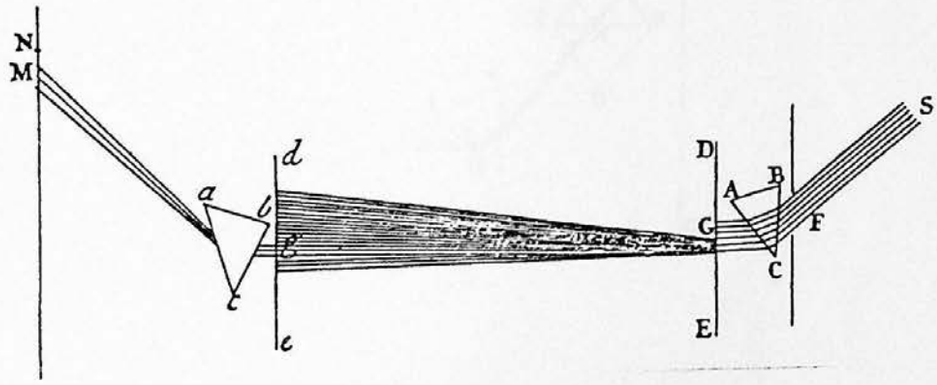

Figura 1 - Reprodução da Fig. 18, pag. 47, <u>Opticks</u>.

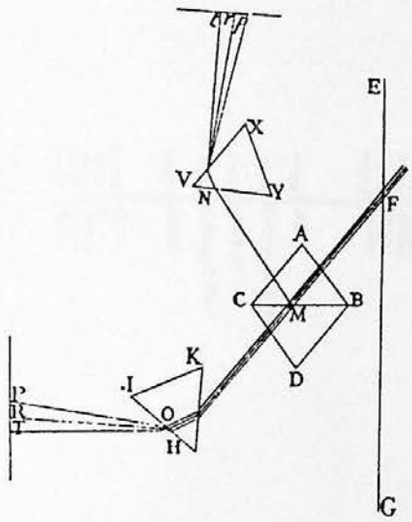

Figura 2 - Reprodução da Fig. 22, pag. 59, <u>Opticks</u>.

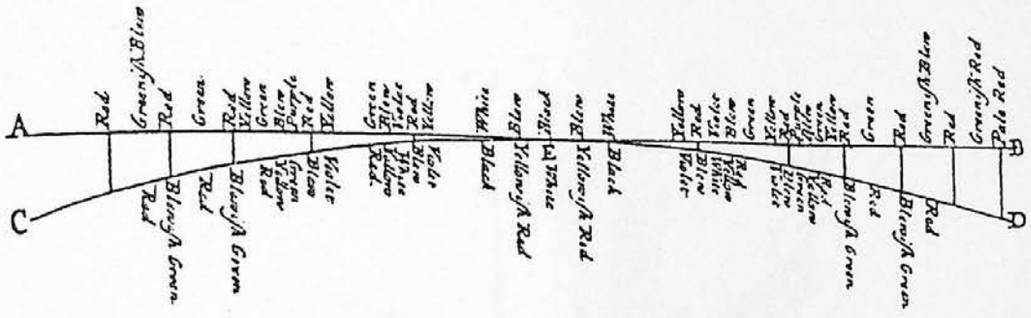

Figura 3 - Reprodução da Fig. 3, pag. 209, <u>Opticks</u>.

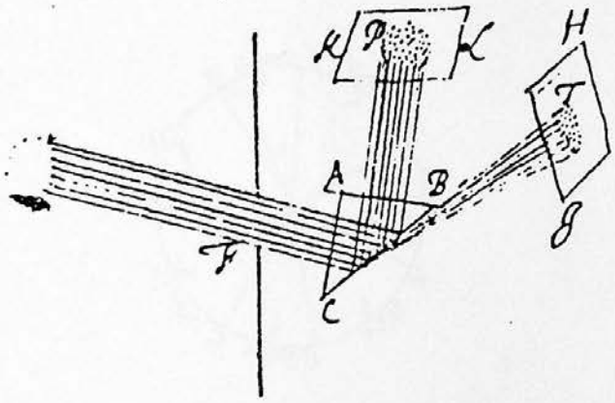

Figura 4 - Reprodução da Fig. 1 apresentada por Shapiro (Sha-ESNT, pag. 217) como original do <u>Optical Lectures</u> de Newton.

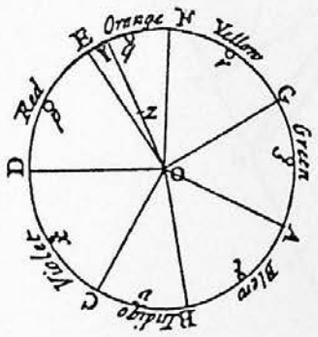

Figura 5 - Reprodução da Fig. 11, pag. 155, <u>Opticks</u>.

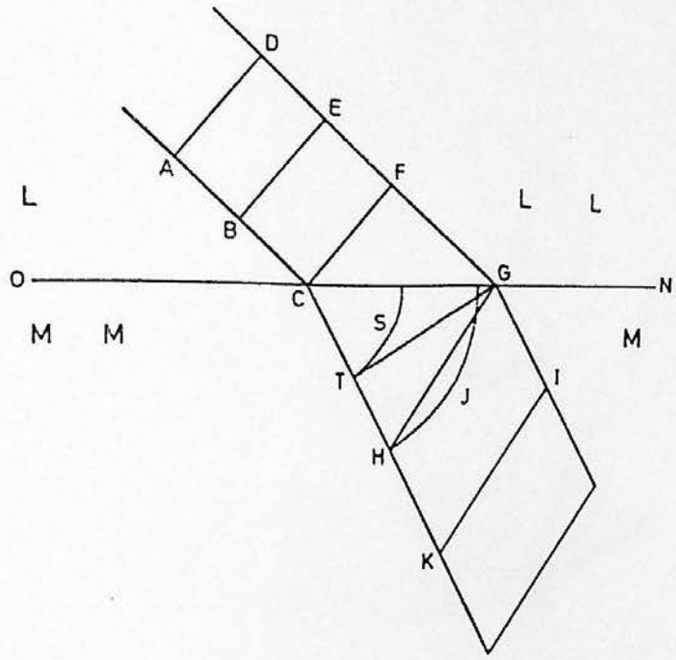

Figura 6 - Reprodução da Fig. 16 apresentada por Shapiro (Sha-KO, pag. 195) como original da <u>Micrografia</u> de Hooke.

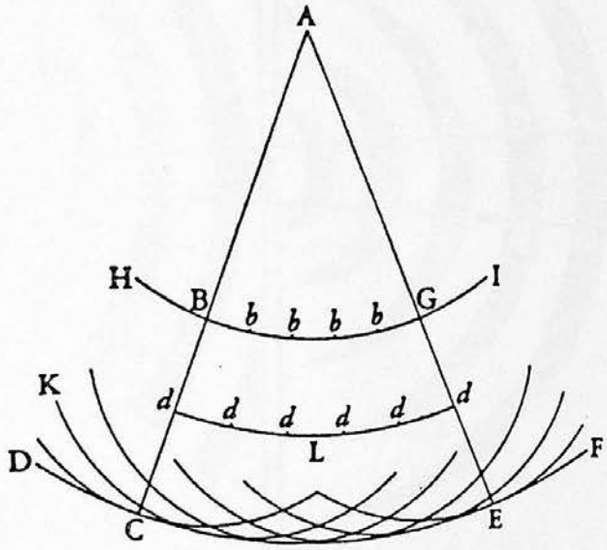

Figura 7 - Reprodução da figura apresentada na pag. 23 do Tratado sbre a Luz de Huygens (Huy-TL).

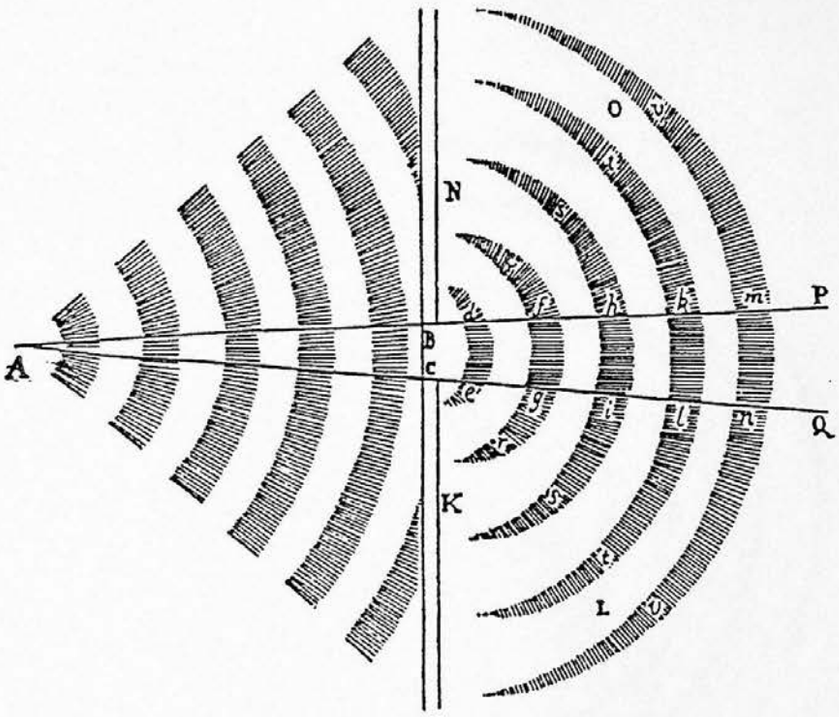

Figura 8 - Reprodução da Fig. 9 apresentada por Shapiro (Sha-PL, pag. 286) como original do Principia de Newton.

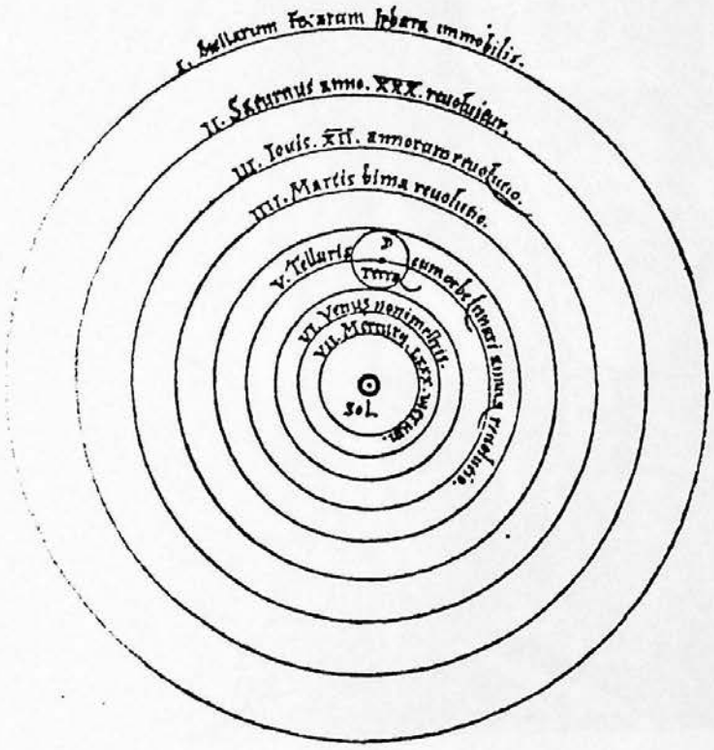

Figura 9 - O sistema de Copérnico, <u>De Revolutionibus</u> - 1543.

Fonte: Crombie (Cro-HC, vol. 2), Lâmina 6.

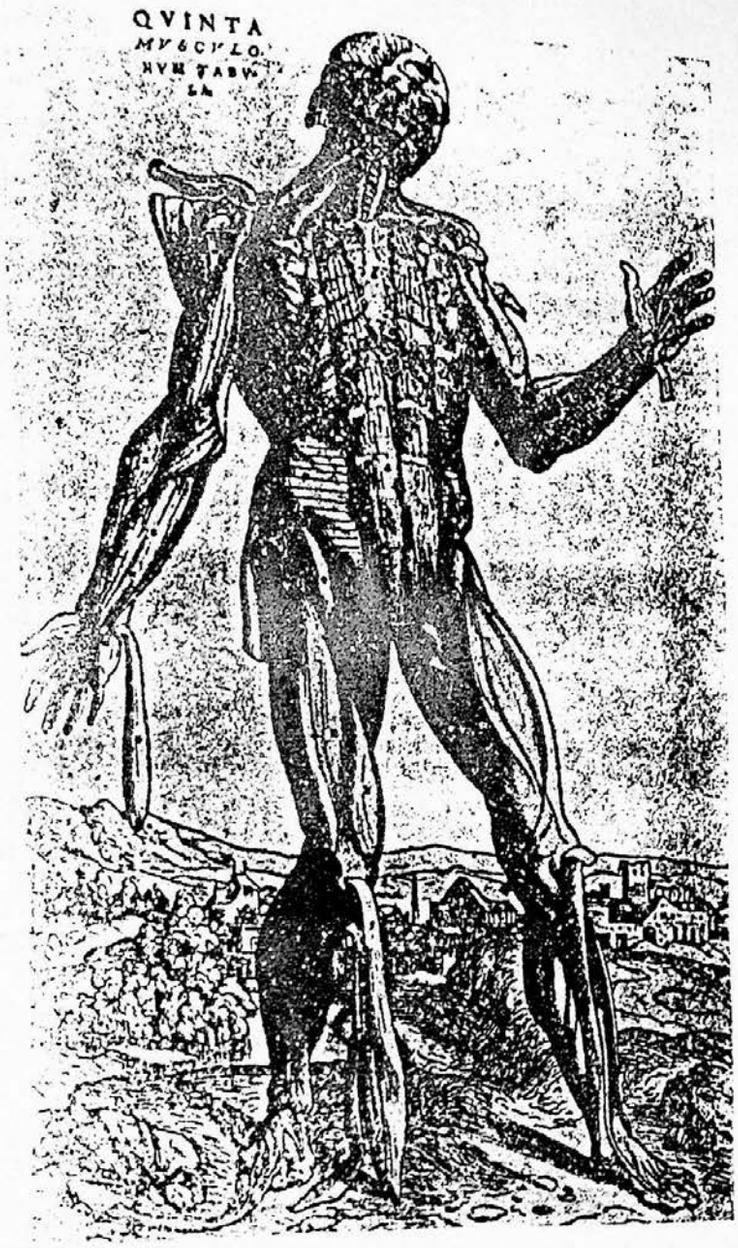

Figura 10 - Dissecação de músculos, Andrea Versalius, De Fabrica - 1543.
Fonte: Crombie (Cro-HC, vol. 2), Lâmina 21.

REFERENCIAS

- Arist-AN: ARISTOTLE, De Anima - in the version of Williamof and commentary of San Thomas Aquino.

- Arist-AN: _____, Fisica - Coleção: Aristoteles - Obras.

- Bro-ML: BROGLIE, Luis de - Matèria y Luz, Espasa, Colpe Argentina S.A. - 1942.

- Co-RN: COHEN, I.Bernard - La revolución newtoniana y la transformacion de las ideas cientificas, Alianza Universidad, versión espanola de Carlos Solis Santos, Madrid, 1983.

- Cro-HC: CROMBIE, A.C. - História de La Ciência - de San Agustin a Galileu - Siglos V - XVII, Aliança Universidad, vol. 1 e 2,versión espanola de José Bernia, Madrid, 1985.

- Cro-RG: _____, Robert Grosseste and the origins of experimental Science - 1100 - 1700, Oxford, Clerendon Press, 1953.

- Dob-NATM: DOBBS, B.J.T. - "Newtons Alchemy and His Theory of Matter". ISIS, 73 (269), pp 511-28, 1982.

- Dob-FNA: _____, The Foundations of Newtons Alchemy or The Hunting of the Greene Lyon, Cambridge University Press, 1984.

- McDo-CP: DONALD, Francis Mac - Plato's Cosmology, Cornford.

- Hall-RC: HALL, A.Rupert - A revolução na Ciência 1500 - 1750, Edições 70, tradução de Ma. Tereza Louro Pérez, Lisboa, 1983.

- He-NTC: HENDRY, John - "Newtons Theory of Colour", Centaurus, vol.23, no. 3, pp 230-51, 1980.

- Huy-TL: HUYGENS, Christian - Tratado sobre a Luz, Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Suplemento 4, pp 1-99, tradução Roberto de A. Martins, 1986.

- Ko-EH: KOYRE Alexandre, "As origens da Ciência Moderna - uma nova interpretação", Estudos de História do Pensamento Cientifico, tradução de Márcio Ramalho, Editora Forense Universitária, Universadade de Brasilia.

- Ko-MFUI: _____, Do Mundo Fechado ao Universo Infinito, tradução Donaldson Garschagen, Editora Universidade de Brasilia.

- Mach-PPO: MACH, Ernst - The Principles of Physical Optics, an historical and philosofical treatment.

- McMul-MA: McMULLIN, Ernan - Newton on Matter and Activity, University of Notre Dame Press, Notre Dame London, 1924.

- NEWTON, Isaac - Opticks or tratise of reletions, refractions, inflections and colours of light, Dover Publications, INC - New York, 1979.

- _____, Principios Matemáticos de la Filosofia Natural y su Sistema del Mundo, Editora Nacional, Madrid, 1982.

- Nus-TR: NUSSENZVEIG, Moysés - "The Theory of raimbow", Scientific American, vol. 236, no. 4, pp 116-27, 1977.

- Pens-NG: "Principios Matemáticos", "Optica" e "O Peso e o Equilibrio dos fluidos", Coleção Os Pensadores, vol. Galileu e Newton, Editora Nova Cultural.

- Ro-NC: RONCHI, Vasco - The nature of light - an Historical Survey, Harvad. Univ. Press, 1970.

- Sa-TLDN: SABRA, A.I. - Theories of light from Descartes to Newton, Oldbourne, London, 1967.

- Sa-NBV: _____, "Newton and the Bigness of Vibrations", ISIS, vol.54 , pp 267-8, 1963.

-Sha-KO: SHAPIRO, Alan E. - "Kinematic Optics: A Study of the wave Theory of Light in the Seventeenth Century", Arch. Hist. Exact. Sci., vol. 11, pp 134-266.

- Sha-ESTN: _____, "The Evolving Structure of Newtons Theory of White Light and Color", ISIS, vol. 71, no. 257, pp 211-35, 1980.

- Sha-LP: _____, "Light, Pressure and Rectilinear propagation: Descartes, Celestial Optics and Newtons Hydrostatics", Stud. Hist. Phil. Sci., no. 3, pp 239-98, Printed in Great Britain, 1974.

- West-FNP: WESTFALL, Richard S. - Force in Newtons Physics. The Science of Dinamics in Seventeeth Century, London MacDonald, 1971.

- West-NRH: _____, "Newtons Reply to Hooke and the Theory of Colors", ISIS, vol. 54, part. 1, no. 175, 1963.

- West-DNTC: _____, "Development of Newtons Theory of Color", ISIS, vol. 53, pp 339-58, 1962.

- Wo-PL: WORRALL, John - "The pressure of light: the strange case of the vacillating Crucial Experiment", Stud. Hist. Phil. Sci., vol. 13, no. 2, pp 133-71, Printed in Great Britain, 1982.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

1 - ACHINSTEIN, Peter - "Light Hypotheses", Stud. Hist. Phil. Sci., vol. 18, no. 3, pp 293-337, Printed in Great Britain, 1987.

2 - ARISTOTLE, Opuscula - The works of Aristotle translated into english, vol. I.

3 - BACHELARD, Gaston - O Novo Espirito Cientifico, Edições 70.

4 - BARKER, Peter and GOLDSTEIN, Bernard R. - "Is Seventeenth Century Physics Indebted to the Stoics?", Centaurus, vol. 27, pp 148-164, 1984.

5 - BOHM, David - "Sobre o problema da verdade e da compreensão em Ciência", tradução Amélia Império Hamburger, IFUSP/P-578, 1986.

6 - BURNS, Edward Mac Nall; LERNER, R.E.; MEACHAM, S. - História da Civilização Ocidental, vol. I e II, Editora Globo, 1987.

7 - COHEN, I. Bernard - O nascimento de uma nova Fisica, EDART.

8 - DIRAC, P.A.M. - "The Evolution of the Physicists Picture of Nature", Scientific American, vol. 208, no.5, pp 45-53, 1963.

9 - DURANT, Will - A História da Civilização, Editora Record, 1985.

10 - GUERLAC, Henry - "Can we date Newtons early optical experiments", ISIS, 74, 1983.

11 - HAMBURGER, Amélia Império - "Atitude critica (positivista) e Atitude construtiva (realista), os exemplos da Relatividade e da Mecânica Quântica, segundo Paul Langevin", IFUSP/P-471, 1984.

12 - _____, "A evolução dos conceitos nas teorias da Fisica como alternativa de ensino de História da Ciência - Estudos Epistemológicos como formação de professores de Fisica, e como História e Filosofia da Ciência", IFUSP/P-714, 1988.

13 - _____, "Epistemologia da Fisica para formação de professores", IFUSP/P-749, 1988.

14 - HAMBURGER, A.I. e LIMA, Elvira C.A.Souza - "O ato de ensinar Ciências", IFUSP/P-776, 1989.

15 - _____, "Pensamento e Ação no Ensino de Ciências", IFUSP/P-791, 1989.

16 - JAFFE, Bernard - Michelson e a velocidade da luz, Edart, Livraria Editora Ltda, 1967.

17 - KEARNEY, Hugh - Origens de la Ciência Moderna 1500 - 1700, tradução J.J.Ferrero Blanco, Ediciones Guadarrama, Madrid, 1967.

18 - KOYRE, Alexandre - Estudos de História do pensamento cientifico, tradução Márcio Ramalho, Editora Forense Universitária, 1982.

19 - _____, Etudes newtoniennes, Editions Gallimard, 1968.

20 - KUHN, T.S. - A Estrutura das Revoluções Cientificas, Editora Perspectiva.

21 - LACEY, Hugh - "O Método de Newton", IFUSP/P.

22 - RONCHI, Vasco - Optics - The Science of vision, New York Press, 1957.

23 - SCHAGRIN, Morton L. - "Early Observations and Calculations on Light Pressure", AJP, vol. 42, pp 927-40, 1974.

24 - SCHENBERG, Mario - Pensando a Fisica, Editora Brasiliense.

25 - SERPA, Luiz Felippe Perret - "Dualidad onda-corpúsculo en la Ensenanza, pp 33-41.

26 - SHAPIRO, Alan E. - "Newton and Huygens Explanation of the 22 Halo", Centaurus, vol. 24, pp 273-87, 1980.

27 - WESTFALL, Richard S. - "Newton Defends His First Publication: The Newton-Lucas Correspondence", ISIS, vol. 57, no. 189, pp 299-314, 1966.

28 - WHITESIDE, D.T., "Kepler, Newton and Flamsteed on Refraction through a Regular Aire: the Mathematical and the Practical", Centaurus, vol. 24, pp 288-315, 1980.

29 - ZIGGELAAR, Augustine - "How did the wave Theory of Ligth take Shape in the Mind of Christian Huygens?", Annals of Science, 37, pp 179-87, 1980.