

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIENCIAS HUMANAS

A REVOLUÇÃO COPERNICANA - GALILEANA: ORIGEM, SIGNIFICADO E INSERÇÃO NA HISTÓRIA DO PENSAMENTO CIENTÍFICO-FILOSÓFICO ANTIGO E MEDIEVAL.

Por

Fátima Regina Rodrigues Évora

Orientador: Prof.Dr. Michel Ghins

*Este exemplar corresponde
à redação final da Tese
defendida pela Sra. FÁTIMA
Regina Rodrigues Évora e apro-
vada pela Comissão Julgadora.
Campinas, 28 de agosto de 1987.*

Tese apresentada para
obtenção do grau de mes-
tre em Filosofia.

Agosto de 1987



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Resumo

Neste trabalho analisa-se o desenvolvimento da ciência de Nicolas Copérnico e Galileo Galilei, e suas metodologias, visando compreender a origem, o alcance e a significação da revolução copernicana-galileana, e a sua inserção na história do pensamento científico-filosófico antigo e medieval.

Numa primeira parte feita é feita uma discussão da ciência antiga e medieval a fim de traçar em linhas gerais o universo científico filosófico no qual Copérnico e Galileo estavam inseridos ao elaborarem suas teorias. Também é analisada a revolução copernicana, sua origem, motivação e teses principais.

A segunda parte desta tese é dedicada à análise historiográfica da ciência de Galileo. Esta leitura é feita informada por estudos epistemológicos, notadamente os de Paul K. Feyerabend.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Michel Ghins, pela orientação segura e pelo estímulo para a realização deste trabalho.

Aos profs. Harvey Brown e Baltazar Barbosa Filho, pelas críticas e discussões na fase inicial do meu mestrado.

Ao Prof. Roberto Martins, pelas críticas, sugestões e incentivo na fase final deste trabalho.

Aos amigos e colegas da pós-graduação do IFCH, Gilson Schwartz, Ney Branco de Miranda e Jorge Luis Grespan com quem as conversas sobre temas ligados ou não a minha tese aproximaram-me cada vez mais da filosofia.

Aos profs. Guilherme Fontes Leal Ferreira e Silvestre Ragusa, do Instituto de Física e Química de São Carlos - USP, pelo apoio que deram à minha decisão de deixar o mestrado em Física, indo para a Filosofia.

Aos meus pais, irmão e marido, pelo apoio em todos os sentidos.

Aos funcionários do IFCH e do Centro de Lógica e Epistemologia que contribuíram, cada um a seu modo, para tornar este trabalho viável.

Às bibliotecárias do Instituto de Física e Química de São Carlos - USP, que com sua eficiência e amizade facilitaram enormemente o meu trabalho.

À FAPESP, ao CNPq e à CAPES, pelo suporte financeiro.

À Ligia, ao nenê e ao Cesar.

ÍNDICE

PARTE 1 - ASTRONOMIA E COSMOLOGIA PRÉ-GALILEANA	01
Cap. 1 - ASTRONOMIA E COSMOLOGIA DOS ANTIGOS.....	05
1.1- De Thales a Philolaus: as primeiras doutrinas astronômicas gregas	07
1.2- Universo das formas perfeitas de Platão e seus discipulos.....	17
1.3- A dinâmica celestial e a mecânica terrestre de Aristóteles	26
1.4- As primeiras teorias heliocêntricas: Heráclides de Pontos e Aristarchos de Samos	36
1.5- Sistema de Epiciclo e Deferente.....	47
1.6- Astronomia Ptolomaica.....	51
Cap. 2 - COPÉRNICO E SUA REVOLUÇÃO	61
2.1- Introdução	61
2.2- Origem do copernicanismo	63
2.2.1- Idade Média: uma longa e tenebrosa noite dos mil anos?.....	63
2.2.2- A crítica medieval à dinâmica aristotélica....	74
2.2.3- Discussão em torno da possibilidade do movimento da Terra.....	91
2.2.4- Cosmologia medieval.....	98
2.2.5- Conclusão	104

2.3-	A influência neo-platônica na Revolução Copernicana..	106
2.4-	As esferas celestes: sua origem e seus movimentos....	126
	Apêndice técnico	151
PARTE 2 - REVOLUÇÃO GALILEANA		166
Cap. 3 -	SIDEREUS NUNCIUS	172
3.1-	Os primeiros anos de Galileo e sua conversão ao coperni- canismo	173
3.2-	Telescópio: um sentido superior e mais aperfeiçoado..	190
3.2.1-	Construção dos primeiros telescópios	190
3.2.2-	A descoberta galileana do telescópio: fruto de raciocínio dedutivo?	211
3.2.3-	Discussão em torno das bases teóricas de Galileo para a construção do telescópio	224
3.3-	Testes terrestres e extrapolação para o Céu	256
3.3.1-	Contexto da justificação.....	256
3.3.2-	As primeiras observações telescópicas de Galileo	264
3.3.3-	O problema dos dados celestes	280
Cap. 4 -	GALILEO E O DIALOGO SOBRE OS DOIS SISTEMAS DE MUNDO - PTO- LOMAICO E COPERNICANO	286
4.1-	Introdução	286
4.2-	Do impetus à inércia circular	293
4.2.1-	Galileo e os precursores da física inercial...	295
4.2.2-	Princípio da inércia circular	301
4.3-	Movimentos Compostos e a relatividade dos movimentos	318
4.4-	Considerações finais sobre o argumento da torre	341
Cap. 5 -	CONCLUSÃO	343

Não me inclino (com efeito) a comprimir doutrinas filosóficas em espaços acanhadíssimos e a adotar aquele estilo rígido, consiso e desgracioso, aquele estilo despido de qualquer adorno que é próprio dos geômetras puros e que os leva a só utilizar palavra que a eles se tenha imposto por estrita necessidade... Não considero errôneo falar de coisas múltiplas e diversas, mesmos nos tratados devotados a um único assunto... pois entendo que a grandeza, nobreza, excelência de nossos feitos e invenções não está no que é necessário - embora, de outra forma, passasse a corresponder a um grande equívoco - mas no que não o é..."

Galileo Galilei (carta
a Leopoldo de Toscana, 1640)

Introdução

A filosofia da ciência contemporânea assistiu nas últimas décadas ao fracasso total de todas as formas de justificacionismo ou verificacionismo, quer aquelas que acreditavam que o conhecimento é o conhecimento demonstrado pelo poder do intelecto, quer aquelas que identificavam o conhecimento com o conhecimento demonstrado pela evidência dos sentidos.

Assistiu-se também ao "enorme esforço realizado pelos racionalistas clássicos em tentar salvar os princípios sintéticos a priori do intelectualismo e dos empiristas clássicos para tentar salvar a certeza de uma base empírica e a validade da inferência indutiva. Para todos eles a honestidade científica exigia que não se afirmasse nada que não estivesse demonstrado. Todavia, ambos foram derrotados: os kantianos pela geometria não-euclidiana e a física não-newtoniana, e os empiristas pela impossibilidade lógica de estabelecer uma base empírica (como assinalaram os kantianos, os fatos não podem demonstrar enunciados) e de estabelecer uma lógica indutiva. Resultou que todas as teorias são igualmente indemonstráveis" (01).

Mesmo as tentativas neo-justificacionistas, ou

(01) Lakatos, T., Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes, in Imre Lakatos and Alan Musgrave (eds.), Criticism and the Growth of Knowledge, (Londres: Cambridge University Press, 1972), p. 92

probabilistas, segundo as quais as teorias científicas, embora igualmente indemonstráveis têm diferentes graus de probabilidade relativa à evidência empírica disponível não resistiram às críticas filosóficas contemporâneas, principalmente aquelas de Karl Popper, para quem todas as teorias não só são igualmente indemonstráveis, como igualmente improváveis, uma vez que o estabelecimento de uma lógica da inferência provável, ou lógica da probabilidade, se encontra diante das mesmas dificuldades que o estabelecimento da lógica indutiva, e estas são ao ver de Popper intransponíveis.

Diante desta situação surgiram várias correntes falsificacionistas propondo uma outra saída a fim de manter a possibilidade do pensamento racional. De acordo com estas correntes não se deve exigir que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido definitivamente, em um sentido positivo, porém a sua forma lógica deve ser tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em um sentido negativo. Deve ser possível, em princípio, refutá-lo pela experiência.

Portanto, embora a verdade de um enunciado científico não possa ser demonstrada, a sua eventual falsidade pode, isto devido a uma assimetria entre a verificabilidade e a falseabilidade, assimetria esta que decorre da forma lógica dos enunciados universais. Assim teorias científicas podem ser eliminadas mediante o mecanismo da refutação.

Entre as correntes falsificacionistas encontramos uma que foi duramente criticada por Karl Popper e Imre Lakatos, o chamado falsificacionismo dogmático ou naturalista que é sustentado sobre dois pressupostos básicos: o pri-

meiro é que existe uma fronteira natural (i.e. psicológica) entre os enunciados teóricos ou especulativos e os enunciados de fato ou observacionais (ou básicos); e o segundo pressuposto é que se um enunciado satisfizer a condição psicológica de ser observacional então ele terá seu valor veritativo assegurado de modo indubitável, pois constitui nosso conhecimento imediato genuíno, pode-se dizer que ele é provado a partir dos fatos. A refutação de uma teoria se dará quando os enunciados teóricos forem contraditados pelos enunciados de fato.

"Porém, (como afirmou Lakatos) ambos pressupostos são falsos. A psicologia testifica contra o primeiro, a lógica contra o segundo" (02), pois mesmo que existisse uma demarcação natural (psicológica) entre os enunciados observacionais e os enunciados teóricos, o valor veritativo dos enunciados observacionais não poderia ser decidido de modo indubitável: "nenhum enunciado de fato pode ser demonstrado a partir de um experimento". Os enunciados só podem ser justificados por outros enunciados, logo os enunciados de fato são indemonstráveis e portanto falíveis. "Se são falíveis então o conflito entre teorias e enunciados de fato não são falsificações, senão simplesmente inconsistências" (03).

Além disso o critério de demarcação do falsificacionismo dogmático, segundo o qual uma teoria só é dita científica se tiver uma base empírica é inútil uma vez que eli-

(02) Lakatos, I., Falsification and Methodology..p.96

(03) idem, p. 97

minaria a classe mais importante das que comumente se consideram teorias científicas.

Diante deste quadro o que resta aos filósofos interessados em descrever a ciência, em descrever o progresso do conhecimento científico?

"Se todas as teorias científicas não são demonstráveis, nem probabilizáveis, nem contra-demonstráveis, então os céticos estavam certos: a ciência não é mais do que especulação vã e não existe algo como o progresso no conhecimento científico" (04).

Lakatos parece decepcionado com este fim e tenta encontrar um meio de não ter que se render ao ceticismo. Para isso ele tenta elaborar uma teoria da ciência capaz de explicar o progresso científico enquanto um progresso racional, tentando encontrar os critérios sobre os quais se baseia a eliminação de teorias.

Esta teoria da ciência a que Lakatos se refere é uma extensão do que ele chama de falsificacionismo metodológico sofisticado, que constitui um ramo do convencionalismo e que já estava parcialmente presente em Popper.

Segundo Popper, a ciência começa a partir de um problema. Esse problema pode ser resultado de um conflito entre uma expectativa e uma observação, ou de contradições internas a uma teoria, ou entre duas teorias diferentes ou ainda de um conflito entre teorias e nossas observações.

Uma vez formulado o problema, cabe ao cientista

(04) Lakatos, I., Falsification and Methodology, p.101

resolvê-lo. Isso equivale a inventar uma teoria relevante , falseável em grau maior do que qualquer teoria alternativa, porém ainda não falseada, que resolva o problema em questão, tentando explicar o conflito que o gerou.

Esta nova teoria deve ser "capaz de explicar certos fatos experimentais - os fatos que as teorias anteriores explicaram com êxito, outros que não conseguiram explicar e outros ainda que refutaram essas teorias. A nova teoria deveria também resolver, se possível, certas dificuldades teóricas (por exemplo dispensar determinadas hipóteses ad hoc ou unir duas teorias" (05). Além de explicar todos os *explananda* que propõe a explicar, esta nova teoria, para ser considerada científica por Popper, deve também ter consequências novas e testáveis (de preferência de um novo tipo) e deve levar à previsão de fenômenos que até então não foram observados.

Elaborada a teoria, conjecturalmente porém ainda não justificada, deve-se atacá-la, criticá-la, pois o debate racional dentro da ciência, segundo a visão poppericana, consiste na tentativa de criticar e não na tentativa de demonstrar ou tornar provável.

Cada passo dado no sentido de proteger da crítica a teoria analisada é um passo que afasta da racionalidade. Devemos sim procurar o conjunto dos falseadores poten-

(05) Popper, K., Conjecture and Reputations: The growth of scientific knowledge, 3rd ed. (London: Routledge and Kegan Paul, 1969), cap. 10, item XVIII.

ciais da teoria em questão e especificá-los bem; e através deles tentar refutar tal teoria.

A refutação da teoria ocorrerá se um enunciado básico contradisser os enunciados que estão sendo submetidos a provas. Quando isso ocorre, ela deve ser afastada, mas não no sentido de algo que tenha sido contra-demonstrado definitivamente, já que o falseamento de teorias depende de enunciados básicos, cuja aceitação tem um caráter de convenção.

O convencionalismo da aceitação dos enunciados básicos deriva do fato de que Popper exige que todos os enunciados, para serem considerados científicos, devem ser objetivos, ou seja, devem ser passíveis de testes intersubjetivos: então os enunciados que se referem à base empírica da ciência (enunciados de fatos singulares que podem atuar como premissa falsificadora - os enunciados básicos) deverão também ser objetivos, logo, suscetíveis de testes intersubjetivos. A possibilidade de testes intersubjetivos implica em que outros enunciados suscetíveis de testes intersubjetivos possam ser deduzidos dos enunciados que devem ser submetidos a testes. E assim *ad infinitum*.

Ora, é claro que os testes não podem ser realizados *ad infinitum*, e a exigência popperiana é a suscetibilidade de testes *ad infinitum*. A opção de parar com a cadeia de provas, e conseqüentemente a aceitação do último enunciado básico submetido a testes, requer uma decisão, a saber, a

(06) Popper, K., The Logic of Scientific Discovery, New York: Harper, 1969), cap. IV, item 30.

de aceitá-lo temporariamente como verdadeiro.

"Sob um prisma lógico, o teste de uma teoria depende de enunciados básicos, cuja aceitação ou rejeição depende, por sua vez, de nossas decisões. Dessa forma, são as decisões que estabelecem o destino das teorias"⁽⁶⁾. Porém, a convenção ou decisão não determina, de maneira imediata, nossa aceitação de enunciados universais, mas, ao contrário, influi em nossa aceitação de enunciados singulares .

Popper sustenta que, em última instância, decide-se o destino de uma teoria pelo resultado de uma prova; isto é, pela concorrência acerca de enunciados básicos, a escolha de uma teoria particular é decididamente influenciada pela aplicação da teoria e pela aceitação dos enunciados básicos ligados a essa aplicação. Consequentemente, "a base empírica da ciência objetiva nada tem, portanto, de absoluto". A ciência não repousa em pedra firme. "A estrutura de suas teorias levanta-se, por assim dizer, num pântano" (07) .

O progresso, então, se dá quando passamos de uma para outra teoria, onde a nova teoria tem mais conteúdo empírico que a anterior, oferecendo assim alguma informação nova comparada com a sua predecessora, sendo que alguma parte dessa informação excedente está corroborada. A refutação popperiana não é simplesmente uma relação entre uma teoria e a base empírica, mas uma relação múltipla entre teorias alternativas, a 'base empírica' original e o desenvolvimento empí

(07) Popper, K. The Logic of Scientific Discovery, cap. IV, item 30

rico resultante do conflito entre as teorias alternativas.

O que torna uma teoria racional ou empírica segundo esta visão, não é o fato de podermos deduzir determinados enunciados a partir dela, mas antes o fato de podermos examiná-la criticamente, sujeitá-la a tentativa de refutação, inclusive com testes obtidos mediante observações. "A racionalidade da ciência reside ^{mais} na escolha racional das novas teorias do que no seu desenvolvimento dedutivo" (08).

Assim é a receita de Popper: valentia nas conjecturas, de uma parte, e austeridade nas refutações, por outra. A honestidade intelectual não consiste em assentar a própria postura demonstrando-a; mas sim especificar com precisão as condições sob as quais se está disposto a abandonar a própria postura.

A teoria popperiana sofreu um grande golpe após a crítica de Thomas Kuhn e Paul Feyerabend; ambos apoiam su as críticas sobre a história da ciência, acreditando que esta não pode ser posta de lado como sendo irrelevante para os metodologistas. Todavia as consequências epistemológicas que cada um deles deriva de seu estudo de casos são completamente diferentes.

Kuhn, ao contrário de Popper, considera que o debate racional só ocorre na ciência em raros momentos de crise. O desenvolvimento da ciência normal, do ponto de vista Kuhniano, se caracteriza pelo dogmatismo quase religioso

(08) Popper, K., Conjectures and Refutation, cap. 10 item V.

e por uma postura não crítica por parte dos cientistas, que tentam a todo custo proteger sua teoria da refutação. A revolução científica, segundo Kuhn, não só não caracteriza a ciência, como é excepcional: ela é extra-científica.

Kuhn após constatar o fracasso, tanto do justificacionismo como do falsificacionismo, em descrever racionalmente o desenvolvimento da ciência, conclui que a preferência de uma teoria científica T por outra não se dá racionalmente, a mudança científica corresponde a uma espécie de conversão mística ou religiosa, que não é nem pode ser governada pela razão.

Feyerabend, por sua vez, considera que receitas epistemológicas embora possam parecer esplêndidas quando comparadas a outras receitas epistemológicas não se pode assegurar que elas sejam o melhor meio de se descobrir não uns poucos 'fatos' isolados, mas também alguns profundos segredos da natureza.

"A idéia de conduzir os negócios da ciência com o auxílio de um método que encerre princípios firmes, imutáveis e incondicionalmente obrigatórios vê-se (segundo Feyerabend) diante de considerável dificuldade, quando posta em confronto com os resultados da pesquisa histórica. Verificamos, fazendo um confronto, que não há uma só regra, embora plausível e bem fundada na epistemologia, que deixe de ser

(09) Feyerabend, P.K., Against Method (Londres: NLB, 1975), trad. O. Mota e L. Hegenberg, Contra o método (Rio de Janeiro: F. Alves, 1977), p. 29

violada em algum momento. Torna-se claro que tais violações não são eventos acidentais, não são o resultado de conhecimento insuficiente ou de desatenção que poderia ter sido evitada. Percebemos, ao contrário, que as violações são necessárias para o progresso. Com efeito, um dos notáveis traços dos recentes debates travados em torno da história e da filosofia da ciência é a compreensão de que acontecimentos e desenvolvimentos tais como a invenção do atomismo na Antiguidade, a revolução copernicana, o surgimento de moderno atomismo, ..., o aparecimento gradual da teoria ondulatória da luz só ocorreram porque alguns pensadores decidiram não se deixar limitar por certas regras metodológicas óbvias ou porque involuntariamente as violaram" (09).

A ciência tal como é conhecida hoje, só pode existir, de acordo com Feyerabend, se forem abandonadas as regras do racionalismo proposto por Popper; basta analisar alguns exemplos da história para verificar que não foi a partir de um problema, como propõem os popperianos, que se desenvolveram algumas teorias, muito menos aquelas que constituíram as chamadas revoluções científicas, mas, antes, a partir de uma atividade muitas vezes sem importância, vindo a resolução de problemas apenas como efeito colateral. Além disso, sejam quais forem os exemplos por nós considerados, verificamos, segundo Feyerabend, que os princípios do racionalismo crítico (tomar os falseamentos a sério, aumentar o conteúdo, evitar hipóteses ad hoc, e assim por diante) proporcionam inadequada explicação do passado desenvolvimento da ciência e são suscetíveis de prejudicar-lhes o desenvolvimento futuro.

Um dos mais fortes exemplos, apresentados por Feyerabend, de violação das regras metodológicas é o desenvolvimento da doutrina copernicana, desde o tempo de Galileo até o século XX.

Neste caso, partiu-se "de uma firme convicção, contrária à razão e à experiência da época. A convicção se dissemina e encontra apoio em outras convicções que são igualmente ou mais desarrazoadas (lei da inércia, telescópio). A pesquisa toma novas direções, constroem-se novos tipos de instrumentos, a evidência passa a ser relacionada com as teorias segundo novas linhas, até que surja uma ideologia suficientemente rica para oferecer argumentos específicos em defesa de cada uma de suas partes e suficientemente plástica para encontrar esses argumentos sempre que se façam necessários. Hoje, podemos dizer que Galileo trilhava o caminho certo, pois sua persistente busca de algo que, a certa altura se afigurou uma ridícula cosmologia, veio a criar os elementos necessários para defendê-la contra aqueles que só aceitam um ponto de vista quando ele é apresentado de determinado modo e que só confiam nele quando encerra certas frases mágicas, denominadas relatos de observação. E isto não é exceção, é o caso comum: as teorias só se tornam claras e razoáveis depois de terem sido usadas, por longo tempo, várias partes incoerentes que as compõem. Essa operação desarrazoada, insensata, sem método é, assim, condição inevitável de clareza e êxito empírico" (10). Assim, conclui Feyerabend, o anarquismo epistemológico favorece a concretização do progresso (quer o progresso no sentido popperiano, quer no sentido empirista, que em qualquer outro sentido que a ele se de

cida emprestar). Mesmo uma ciência que se pautar pelo bem ordenado só alcançará resultados, segundo Feyerabend, se admitir ocasionalmente, procedimentos anárquicos.

Diante das críticas kuhnianas e feyerabendianas, qual a saída para a filosofia da ciência? O irracionalismo quase que religioso de Kuhn, ou o anarquismo epistemológico de Feyerabend?

A nosso ver a saída não reside na proposta kuhniana, isto porque a história da ciência, e principalmente das revoluções científicas não se desenvolve de acordo com os padrões metodológicos de Kuhn. As revoluções científicas, (como por exemplo a revolução copernicana, que será analisada no Cap. II desta tese) não ocorrem somente quando o acúmulo de anomalias gera um estado de crise, quando então um novo 'paradigma' é proposto, diante do qual ocorre uma espécie de conversão mística que não é, e não pode ser, governada pela razão.

Só nos restaria então o anarquismo feyerabendiano?

Não sei, certamente há necessidade de uma nova abordagem geral da ciência, que talvez possa ser desenvolvida a partir da metodologia dos programas de investigação científica de Lakatos. Porém aqui não nos propomos a encontrar tal resposta, mas antes analisar um episódio da história da ciência que é apresentado tanto por Kuhn, como por Feyerabend -

(10) Feyerabend, P.K., Against Method, Contra o Método, p. 33.

bend para sustentar as suas críticas ao racionalismo crítico e empirismo lógico, a saber a Revolução Copernicana-Galileana.

Devemos notar que Kuhn se ocupa principalmente da Revolução Copernicana, enquanto Feyerabend, embora apresente inúmeros exemplos históricos a fim de sustentar sua posição, dá particular ênfase à forma como Galileo desenvolveu suas teorias, principalmente aquelas presentes em suas últimas e mais importantes obras; *Dialogo sopra i due massimi sistemi del Mondo, Tolemaico e Copernicano* (1632), onde Galileo apresenta sua pesquisa astronômica, e uma ampla discussão da controvérsia copernicana, e os *Discorsi e Dimonstrazioni matematiche intorno a Due Nuove Scienze* (1638).

Assim pretendemos nesta pesquisa analisar o desenvolvimento da ciência de Nicolas Copérnico e Galileo Galilei e suas metodologias, visando compreender a origem, o alcance e a significação da revolução copernicana-galileana, e a sua inserção na história do pensamento científico - filosófico antigo e medieval.

Esta tese será dividida em duas partes:

PARTE 1 - Astronomia e Cosmologia Pré-galileana

PARTE 2 - Revolução Galileana

Na parte 1 será feita uma discussão da ciência antiga e medieval a fim de traçar, em linhas gerais, o universo científico e filosófico no qual Copérnico e Galileo estavam inseridos ao elaborarem suas teorias. Esta parte será subdividida em dois capítulos: Cap. I - Astronomia e Cosmologia dos antigos, e Cap. II - Copérnico e sua Revolução.

No capítulo I serão analisados alguns aspectos da física e cosmologia de Aristóteles e do pensamento cosmológico de Platão e seus discípulos, cujo espírito de simplicidade e harmonia influenciaram fortemente o pensamento de Copérnico e Galileo.

Será também discutida a influência de Pitágoras e seus seguidores sobre as idéias cosmológicas de Platão, Copérnico e Galileo. Ainda no Cap. I, serão analisados os notáveis sistemas cósmicos propostos pelos primeiros a acreditarem em algum tipo de movimento da Terra, tais como Philolaus, o pitagórico; Heraclides de Pontos e Aristarchos de Samos.

Além disso serão discutidos alguns pontos de Ptolomeu, em especial aqueles que serão alvo da crítica copernicana.

No capítulo II serão analisados os trabalhos de alguns medievais como os de Philoponus, dos árabes Avicena, Avempace e Averroes, e dos membros da escola nominalista de Paris, tais como Jean Buridan e Nicolas Oresme, que terão um papel decisivo na crítica escolástica que tem lugar nos séculos que precedem a revolução copernicana. Também no capítulo II será analisada a Revolução Copernicana, sua motivação e suas teses principais.

A segunda parte desta tese será dedicada à análise historiográfica da ciência de Galileo Galilei.

A leitura histórica será feita informada por estudos epistemológicos, notadamente os de Paul K. Feyerabend. A partir desta leitura será feito um paralelo entre ela e aquela feita por Feyerabend comparando as duas visões no que diz respeito à postura epistemológica de Galileo.

Este paralelo será feito tendo em mente o debate entre Feyerabend e Peter Machamer.

Machamer contesta tanto a leitura historiográfica por Feyerabend da ciência de Galileo, como a análise epistemológica dela derivada.

Diante da controvérsia Feyerabend versus Machamer e a fim de verificar se de fato a revolução galileana constituiu um exemplo de violação do empirismo lógico e racionalista crítico, como afirma Feyerabend, será feita, nesta parte II, uma análise historiográfica dos dois aspectos do trabalho de Galileo sobre os quais Feyerabend sustenta que a metodologia da ciência é, e deve ser, "tudo vale".

Estes dois aspectos são: o trabalho telescópico de Galileo e a sua nova mecânica.

A análise destes aspectos será dividida em dois capítulos. Num primeiro (intitulado *Sidereus Nuncius*) serão discutidos: o telescópio, contexto da descoberta e contexto da sua justificação, e as observações astronômicas de Galileo. Serão também analisados aspectos da óptica medieval, desenvolvidos por Alhazen, Witelo, Robert Grosseteste, Roger Bacon, John Peckham, Francesco Maurolico, Giovanni Battista della Porta e finalmente Johannes Kepler, que poderiam ter servido de bases teóricas para a construção do telescópio e justificação de seu uso.

Um segundo capítulo (Galileo e o Dialogo sobre os dois sistemas de Universo, Ptolomaico e Copernicano) será dedicado à reconstrução e análise dos argumentos mecânicos de Galileo em favor da mobilidade da Terra, inserindo-os na discussão medieval em torno da possibilidade do movimento da Ter

ra; serão também discutidas as novas idéias introduzidas por Galileo (lei da inércia circular, nova mecânica e princípio da relatividade) a fim de sustentar as suas respostas às objeções aristotélicas ao movimento da Terra.

PARTE I

ASTRONOMIA E COSMOLOGIA PRÉ-GALILEANA

Um erro que tem influenciado muito os historiadores da ciência é a noção de que a ciência natural começou no século XVII, com a Revolução Galileana-Cartesiana, ou talvez no século XVI, com a Revolução Copernicana: os Gregos não passariam de especuladores e todos os pensadores medievais teriam se inspirado na teologia e na superstição.

Nós, por outro lado, acreditamos que a ciência natural foi-se desenvolvendo desde a antigüidade e que a ciência moderna, como diz A. Koyré, "não brotou perfeita e completa, qual Atenas da cabeça de Zeus, dos cérebros de Galileo e de Descartes. Ao contrário, a revolução galileana-cartesiana - que permanece apesar de tudo uma revolução -- tinha sido preparada por longo esforço de pensamento"⁽¹⁾.

Assim sendo, para compreender a origem, o alcance e a significação da revolução copernicana-galileana - tema desta tese - e a sua inserção no pensamento científico - fi

(1) Koyré, A., Études d'histoire de la pensée scientifique (France: Éditions Gallimard, 1973) p. 196. Texto de uma conferência feita no Palácio da Descoberta a 7 de maio de 1955.

losófico antigo e medieval , devemos analisar, ainda que rapidamente, a ciência pré-galileana, sobretudo aquela desenvolvida por Aristóteles (384-322 A.C.), e o pensamento cosmológico de Platão (428-347 A.C.) e seus discípulos, cujo espírito de simplicidade e harmonia influenciaram fortemente o pensamento de Copérnico (1473-1543) e Galileo (1564-1642).

Não poderíamos deixar de discutir também a influência de Pitágoras (séc. VI A.C.) e seus seguidores sobre as idéias cosmológicas de Platão, Copérnico e Galileo. Nem deixar de analisar os notáveis sistemas cósmicos propostos pelos primeiros a acreditarem em algum tipo de movimento da Terra, tais como Philolaus (séc. IV A.C.), o pitagórico, que colocou o fogo no centro e transformou a Terra em mais uma estrela girando entre outras, Heraclides de Pontos (387-315/10 A.C.), que propôs uma teoria semi-heliocêntrica, considerou o Cosmo infinito e dotou a Terra de um movimento de rotação diária em torno de seu próprio eixo, e Aristarchos de Samos (310-230 A.C.), um precursor de Copérnico.

Além disso se faz necessário a discussão de alguns pontos do sistema de Ptolomeu (séc. I), em especial aqueles que serão alvo da crítica copernicana.

Também os trabalhos de alguns medievais como os de Philoponus (séc. VI), dos árabes, Avicena (980-1037), Avempace (1106-1138) e Averrões (1126-1198), e dos membros da escola nominalista de Paris, tais como Jean Buridan (1300?-1358) e Nicolas Oresme (1323?-1382), deverão ser analisados, já que terão um papel decisivo na crítica escolástica que tem lugar nos séculos que precedem a revolução copernicana.

Finalmente, antes de entrarmos na discussão dos trabalhos de Galileo propriamente dita, analisaremos a revolução Copernicana, sua motivação e suas teses principais.

Não pretendemos aqui fazer uma discussão detalhada da ciência antiga e medieval, porém achamos fundamental traçar, em linhas gerais, o universo científico e filosófico no qual Galileo e Copérnico estavam inseridos ao elaborarem as suas teorias.

Cabe lembrar uma circunstância, assinalada por A. Koyré, e que é muito freqüentemente esquecida, a saber, "o fato de que a física de Aristóteles não é um amontoado de incoerências, mas ao contrário é uma teoria científica, altamente elaborada e perfeitamente coerente e que, não somente possui uma base filosófica muito profunda, mas ainda, assim como o mostraram P. Duhem e P. Tannery, concorda — bem melhor que a de Galileo — com o senso comum e a experiência quotidiana"⁽²⁾.

Não concordando integralmente com Koyré, T. Kuhn afirma que "não é difícil encontrar incoerências na obra de Aristóteles, nem, inclusive, esporádicas e flagrantes contradições, contudo, sua visão do homem e do Universo apresenta uma unidade fundamental e jamais desde então havia sido levada a cabo uma síntese comparável à sua quanto a extensão e originalidade"⁽³⁾.

(2) Koyré, A., Études d'histoire de la pensée scientifique, p. 201.

(3) Kuhn, Thomas S., The Copernican Revolution, (Cambridge: Massachusetts), 1957, p. 77.

As idéias cosmológicas de Aristóteles, ou seja, suas idéias sobre a real estrutura do Universo, assim como sua teoria da substância e os princípios fundamentais da explicação científica, dominaram o pensamento europeu até as primeiras décadas do século XVII. Suas opiniões tiveram uma grande influência e constituíram o ponto de partida para a maior parte do pensamento cosmológico medieval e grande parte do renascentista.

Platão, por outro lado, embora sem dar uma substancial contribuição à astronomia, influenciou vários astrônomos da antigüidade, como Eudoxos, Callipos, Heraclides de Pontos, e até mesmo Aristóteles; alguns medievais e renascentistas, como Copérnico e Galileo, entre outros.

CAPÍTULO I

ASTRONOMIA E COSMOLOGIA DOS ANTIGOS

"Nada é mais tolo do que atribuir aos gregos uma cultura autóctone: pelo contrário, eles sorveram toda a cultura viva de outros povos e, se foram tão longe, é precisamente porque sabiam retomar a lança onde um outro povo a abandonou, para arremessá-la mais longe. São admiráveis na arte do aprendizado fecundo ..."

Friedrich Nietzsche (A filosofia na época trágica dos gregos - 1873)

A literatura grega reflete o interesse dos antigos pelos corpos celestes e seus movimentos, bem como a influência vital destes sobre as atividades religiosas, agrícolas e de navegação. Já nos poemas homéricos, compilados provavelmente no século IX A.C., encontramos citações das constelações Ursas, Boötes, Plêiades, e a estrela de Sirio.

Contudo o interesse pelos movimentos celestes não nasceu com os gregos. Estava presente entre todas as civilizações antigas. Os babilônios, por exemplo, embora sem formular qualquer tipo de teoria geométrica do movimento celeste,

desenvolveram uma astronomia matemática altamente refinada a partir da qual era possível conhecer precisamente os períodos do Sol, da Lua e dos planetas. Este conhecimento os capacitava a predizer as posições destes corpos no Céu e a ocorrência de eclípses lunares; apesar disso a cosmologia babilônica era essencialmente mitológica.

Entre outras civilizações antigas, tais como a egípcia e a indiana, cosmologias igualmente primitivas e mitológicas prevaleciam. E embora os egípcios não ignorassem os aspectos astronômicos, as observações celestes, entre eles, eram raras⁽¹⁾.

Podemos então dizer que: embora a astronomia tenha possivelmente nascido na Babilônia, a cosmologia, enquanto ciência, desvinculada da mitologia e edificada sobre observações astronômicas, surgiu apenas com os gregos⁽²⁾.

(1) Sobre a astronomia e cosmologia dos babilônios, egípcios e indus ver: M.R. Cohen e I.E. Drabkin, A Source books of Greek Science (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1966); J.L.E. Dreyer, History of the Planetary Systems from Thales to Kepler, (Cambridge University Press, 1906; reimpresso pela Dover Publications, Inc., New York, 1953, sob o título: A History of Astronomy from Thales to Kepler); M.K. Munitz ed. Theories of the Universe from Babylonian Myth to Modern Science, (New York: The Free Press, A Division of MacMillan Pub. Co., Inc., 1957); O. Neugebauer A History of Ancient Mathematical Astronomy (3 volumes) (New York: Springer-Verlag, 1975).

(2) Devemos notar, como o fizeram Cohen e Drabkin, que embora o desenvolvimento da astronomia geométrica grega tenha ocorrido praticamente paralelo ao desenvolvimento da astronomia matemática dos babilônios, até agora a influência mútua entre os métodos geométricos dos gregos e os métodos numéricos dos babilônicos permanece completamente sem resposta.

Assim concordamos com Thomas Kuhn quando ele afirma que: "todas as civilizações e culturas que conhecemos tem dado sua resposta ao problema de elucidar qual é a estrutura do Universo, mas sô as civilizações ocidentais que descendem da Grécia helênica prestaram singular atenção ao aspecto dos céus para obter tal resposta"⁽³⁾. Ou seja: a estreita vinculação entre astronomia e cosmologia é um traço característico dos ocidentais.

1.1- De Thales a Philolaus: as primeiras doutrinas astronômicas gregas

"Eles (os pitagóricos supunham que) todo o céu é uma harmonia musical e um número"

Aristóteles (Metaphysica I, 5, 986^a)

A preocupação dos gregos por explicar as variações cíclicas observadas nos Céus (movimento dos planetas e estrelas) dentro de um marco teórico já estava presente entre os pré-socráticos, tais como Thales (640 aprox. -546 A.C.) e Anaximandros (610-547 A.C.), ambos da escola de Mileto, Pitágoras de Samos (aprox. 580-500 A.C.) e Anaxagoras (500-428 A.C.). Isto pode ser evidenciado por alguns escassos fragmentos do pensamento cosmológico deste período primitivo da as-

(3) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap. I, p. 5.

tronomia grega, os quais chegaram até nós através de escritos de pensadores mais recentes, particularmente Aristóteles. Neles encontramos freqüentes referências às especulações astronômicas e cosmológicas de seus predecessores. Também se recorre aos poucos fragmentos que restaram do livro de história da física de Theophrastus (séc. IV A.C.), principal discípulo de Aristóteles, ou às várias compilações feitas por escritores mais recentes que parecem ter sido baseadas no livro de Theophrastus.

Esta primeira fase da astronomia grega é inaugurada por Thales, fundador da escola Jonica, a quem é atribuída uma série de descobertas tais como: a divisão do ano em 365 dias, a determinação do solstício e do equinócio, e a previsão de um eclipse total do Sol, provavelmente aquele que ocorreu em 28 de maio de 584 A.C.

Segundo Sir Thomas Heath, é boa a evidência de que Thales tenha realmente previsto o eclipse solar mencionado acima⁽⁴⁾, embora provavelmente ele não tenha compreendido a verdadeira causa dos eclipses uma vez que ele sustentava que

(4) Devemos notar que não existe unanimidade entre os historiadores da ciência com respeito a previsão do eclipse solar de 28 de maio de 584 A.C., feita por Thales. George Sarton, por exemplo, afirma que Thales não deve ter previsto tal eclipse "pois ele não tinha o conhecimento necessário, mas ele próprio poderia ter alegado que ele o havia previsto ou seus companheiros poderiam ter sido levados a acreditar que ele o tinha previsto" Sarton, G. A History of Science, ancient science through the Golden age of Greece, (Cambridge: Harvard University Press, 1966), p. 170.

a Terra era um disco circular flutuando sobre a água que, a seu ver, correspondia ao elemento básico da constituição de todas as coisas.

Além destas descobertas são geralmente atribuídas a Thales, em comum com outros astronômos em cada caso; algumas outras descobertas que, segundo Heath, só chegaram a ser realmente feitas muito tempo depois da fundação da escola de Mileto. Diante da enorme controvérsia com respeito a estas descobertas Heath resolveu apresentar a sua *A History of Greek Mathematics* uma lista que contém apenas o nome dos astrônomos aos quais as respectivas descobertas podem, com mais certeza, ser atribuídas; é ela: "1) o fato de que a Lua obtinha a sua luz a partir do Sol (Anaxágoras e possivelmente Parmênides); 2) a esfericidade da Terra (Pitágoras); 3) a divisão da esfera celeste em cinco zonas (Pitágoras e Parmênides); 4) a obliquidade da eclíptica (Oenopides de Chios); 5) a estimativa do diâmetro do Sol como $\frac{1}{720}$ do círculo do Sol (Aristarchos de Samos)"⁽⁵⁾.

Dentro da astronomia pré-socrática Pitágoras e os pitagóricos ocuparam um importante lugar e alguns historiado

(5) Heath, Sir Thomas, A History of Greek Mathematics, vol. I, from Thales to Euclides, (New York: Dover, Publications, 1981), p. 138.

As descrições das descobertas de Thales feitas por Heath, e por outros historiadores mais recentes, geralmente referem-se a descrições anteriores, principalmente aquelas feitas por Cícero (séc. I A.C.), Plínio, o velho (séc. I), Clemente de Alexandria (séc. I), Diogenes Laërtius (séc. III) e Eusébius (? séc. III).

res, como Arthur Berry, chegam mesmo a afirmar que: um real progresso astronômico sô ocorreu a partir de Pitágoras e seus seguidores.

Segundo o sistema astronômico desenvolvido por Pitágoras a Terra está no centro do Universo em torno do qual gira a esfera das estrelas fixas (diariamente de leste para oeste). O Sol, a Lua, e os outros planetas movimentam-se segundo uma trajetória circular em sentido oposto ao da rotação diária.

O sistema astronômico conhecido como pitagórico provavelmente não foi desenvolvido pelo próprio Pitágoras, mas sim por seus discípulos a partir do fim do século V A.C. De acordo com esse sistema o Universo era composto de uma imensa esfera em movimento, onde estavam incrustadas as estrelas, cujo centro era uma grande bola de fogo, o Altar de Zeus, invisível para um observador terrestre; todos os outros corpos celestes, incluindo a Terra e o Sol, movimentam-se segundo uma trajetória circular ao redor do fogo central. A Terra, para os pitagóricos, perdeu seu estatuto privilegiado e passou a ser apenas mais um corpo celeste entre outros. Cada planeta, cada estrela era, para eles, um mundo tal qual a Terra rodeada de ar e flutuando no eter ilimitado.

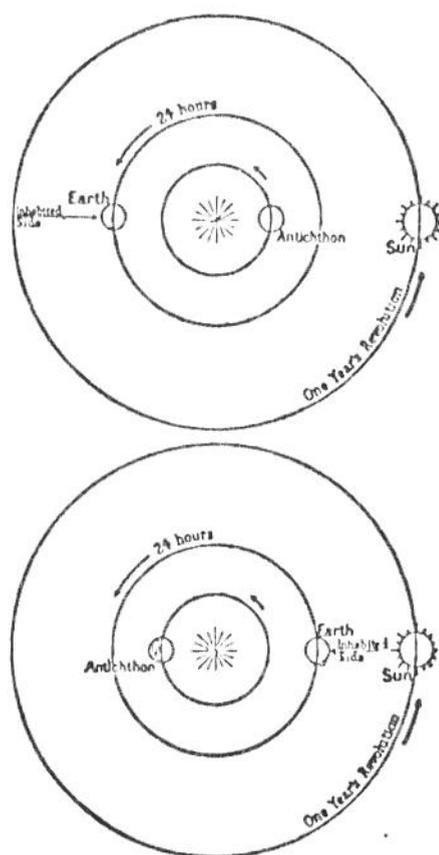
Além da esfera das estrelas fixas, Terra, Lua, Sol e dos cinco planetas visíveis (Mercúrio, Venus, Marte, Júpiter e Saturno), os pitagóricos acreditavam na existência de um décimo planeta, que Philolaus (séc. IV A.C.) chamou de *antichton* (anti-Terra), que seria invisível para um observador terrestre, devido a sua posição e período de revolução

no Universo (ver Figura I); este décimo planeta era preconizado pelos pitagóricos porque dez é um número perfeito. A este respeito diz Aristóteles: "quando eles (os pitagóricos) encontravam em algum lugar uma lacuna nas relações numéricas das coisas, eles, imediatamente, ocupavam-na a fim de fazer toda sua teoria coerente. Como dez é um número perfeito, e admitindo que ele contenha a natureza toda dos números (sendo a soma dos quatro primeiros números) eles sustentavam que devia haver dez corpos movendo-se no Céu, mas como somente nove são visíveis eles fizeram ($\delta\upsilon\delta\epsilon\iota\chi\theta\omega\nu$) *antichthon* o décimo" (6).

Devemos notar que no *De Caelo* II, 13, 293^a, 20-25, e 293^b, 21-25, Aristóteles apresenta uma outra razão que teria levado os "filósofos italianos conhecidos como pitagóricos" a introduzirem este décimo planeta, diz ele: "junto ao centro, eles (os pitagóricos) dizem que está o fogo, e a Terra é uma das estrelas, criando a noite e o dia por seu movimento circular ao redor do centro. Eles além disso construíram outra Terra em oposição a nossa para a qual eles dão o nome de *antichthon* (anti-Terra) ... Todos os que negam que a Terra repousa no centro pensam que ela gira ao redor do centro, e não somente a Terra mas, como dissemos anteriormente, a anti-Terra também. Alguns deles* consideram possível que haja

(6) Aristóteles, *Metaphysica*, I, cap. 5, 086^a, 5-15, trad. W.D. Ross, Chicago: *Encyclopaedia Britannica*, 1952 (*Great books of the Western World*, VIII). Doravante todas as citações do *Metaphysica* de Aristóteles serão feitas a partir desta tradução.

* Grifo meu



The System of Philolaus

(Dante and the Early Astronomers, M.A. Orr (Mrs. John Evershed), 1913, apud Gomperz Theodor, The Development of the Pythagorean Doctrine, no Theories of the Universe, from Babylonian Myth to Modern Science, Munitz, M.K. ed. (New York: The Free Press, 1965, p. 37).

FIGURA I - "figura superior: noite na Terra. Somente o lado oposto ao centro é habitado; conseqüentemente o Fogo Central e o Antichthon (anti-Terra) são invisíveis".

"figura inferior: doze horas depois, dia na Terra. A Terra completou meia revolução, e seu lado exterior está agora iluminado pelo Sol, que moveu-se somente meio grau para frente de sua órbita anual. O antichthon completou também meia revolução, portanto permanece invisível".

vários corpos movendo-se, que são invisíveis para nós devido à interposição da Terra. Isto, eles dizem, dá conta do fato de os eclipses da Lua serem mais freqüentes do que os do Sol: pois, além da Terra, cada um destes corpos móveis podem obstruí-la".

Muitos historiadores consideram ser esta a verdadeira explicação para a introdução da anti-Terra no sistema pitagórico e citam esta particular passagem do *De Caelo* para sustentar sua posição.

Eu, por outro lado, considero que seria mais razoável pensar que a introdução do *antiekthon* tenha sido motivada mais pela idéia de harmonia e perfeição do que para explicar a ocorrência de um fenômeno, embora ela tenha sido utilizada por muitos adeptos da doutrina *philolaica*, com este fim, isto porque, eu creio que o sentimento de beleza, harmonia e simetria entre os pitagóricos era muito mais forte que a necessidade de se buscar as idéias nas suas realizações concretas nos fenômenos da natureza, postura esta tipicamente aristotélica.

O próprio Aristóteles ao comentar a postura dos pitagóricos, enfatiza, em várias passagens do *De Caelo*, *Metaphysica* e *Physica*, que eles buscavam a confirmação de suas idéias olhando "mais para as teorias do que para os fatos da observação" (*De Caelo* II, 13, 293^a, 30).

Inclusive na passagem do *De Caelo* citada acima, onde Aristóteles fala da relação entre a construção da anti-Terra e a explicação dos eclipses, ele descreve de forma bastante clara a postura dos pitagóricos diante dos fatos

da observação; afirma Aristóteles: "Nisso tudo (colocação do fogo no centro do Universo, transformação da Terra em uma estrela, e a construção da anti-Terra) eles não estão buscando teorias e causas para dar conta dos fatos observados, mas além disso estão forçando suas observações e tentando acomodá-las a certas teorias e opiniões deles próprios"⁽⁷⁾.

Ao se referir a este notável sistema cósmico Aristóteles não o atribui a um filósofo em particular, mas aos pitagóricos em geral; porém Aëtius, o doxógrafo, sempre e claramente, atribui, a maior parte, senão todo sistema a Philolaus.

Ao comentar o sistema de Philolaus, nos seus *Placita*, Aëtius afirma:

"II. 7.7 (Philolaus sustenta que) o meio é naturalmente o primeiro na ordem, e rodeando-o dez corpos divinos movem-se como em uma dança, o Céu e os cinco planetas, depois deles o Sol, embaixo dele a Lua, e embaixo da Lua a Terra e embaixo da Terra a anti-Terra; depois de todos eles vem o fogo que é colocado como uma lareira ao redor do centro.

III. 11.3. Philolaus, o pitagórico, coloca o fogo no meio, pois este é a lareira de todos; depois dele ele coloca a anti-Terra, e terceiro a Terra habitada, que ele co

(7) Aristóteles, De Caelo II, 13, 293^a, 25-30, trad. J.L. Stocks, Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great books of the Western World, VIII). Doravante todas as citações do De Caelo serão feitas a partir desta tradução.

loca oposta a anti-Terra, girando com ela; esta é a razão por que aqueles que vivem na anti-Terra são invisíveis para aqueles que vivem na nossa Terra.

III. 13.1-2. Outros sustentavam que a Terra permanecia em repouso. Mas Philolaus, o pitagórico, sustentava que ela girava ao redor do fogo em um círculo oblíquo, do mesmo modo que o Sol e a Lua.

II. 20.12. Philolaus, o pitagórico, sustentava que o Sol era transparente como o vidro, e que ele recebia a reflexão do fogo do Universo e transmitia-nos tanto a luz como o calor ... " (8)

Apesar das diferenças entre o sistema desenvolvido por Pitágoras e aquele desenvolvido por seus discípulos, ambos obedecem aos mesmos princípios matemáticos ou estético-matemáticos cujos elementos essenciais são: a idéia de que o comportamento das coisas é o produto de suas estruturas geométricas; a visão de que a esfera é a mais bela e a mais perfeita das figuras sólidas; que o movimento circular e uniforme é o mais perfeito; e principalmente que "o número é todas as coisas, que o número não representa meramente as relações dos fenômenos entre si, mas é a substância das coisas, a causa de todos os fenômenos da natureza. Pitágoras e seus segui

(8) Aëtius, Placita, apud Cohen, M.R. and Drabkin, I.E., A Source Book in Greek Science (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1966) p. 97.

dores foram levados a esta suposição ao perceberem como tudo na natureza é governado por relações numéricas, como a harmonia dos sons musicais depende de intervalos regulares, dos quais a avaliação numérica eles foram os primeiros a determinar"⁽⁹⁾.

Finalmente não podemos deixar de mencionar que para eles o Universo é regido por um senso de beleza, simetria e harmonia, dentro do qual todos os corpos celestes são esféricos e movem-se uniformemente em trajetórias circulares. Cada uma das diferentes revoluções destes corpos, segundo os pitagóricos, produz diferentes sons, compondo uma música incessante, que nossos ouvidos são incapazes de ouvir já que temo-la ouvido desde o nosso nascimento. Esta música é conhecida como "harmonia das esferas".

Assim, como afirma Aristóteles, "eles, (os pitagóricos) supõem que os elementos dos números são os elementos de todas as coisas, e todo o Céu é um número e uma harmonia musical" (a esse respeito, ver: Arist., *Metaphysica I*, 5, 986^a 1-10).

Podemos então concluir que para Pitágoras e os pitagóricos a astronomia é pura matemática, uma combinação de geometria, aritmética e harmonia. E que a estrutura do Universo pode ser entendida e expressa na linguagem ma-

(9) Dreyer, J.L.E., A History of Astronomy from Thales to Kepler, 2^a ed., (New York: Dover, 1953) p. 36.

temática⁽¹⁰⁾.

1.2- Universo das formas perfeitas de Platão e seus discípulos

"Que ninguém ultrapasse minha porta sem conhecer a geometria"

(inscrição que, segundo se diz, estava colocada na porta da Academia de Platão)*

Embora a preocupação por explicar as variações cíclicas observadas nos Céus dentro de um marco teórico já estivesse, como dissemos anteriormente, presente entre os pré-socráticos, Platão, no início do século IV A.C., parece ter sido o primeiro a enunciar aquele que foi, talvez, por cerca de dois mil anos, o problema mais importante dos astrônomos, a saber: Quais são os movimentos circulares uniformes e ordenados que podem ser tomados como hipóteses para explicar os movimentos aparentes dos planetas?⁽¹¹⁾

* Sobre o papel da geometria na ciência ver: Platão, República, VII, 527.

(10) Para uma leitura mais minuciosa sobre o pensamento pitagórico ver: Gomperz, T. The Development of the Pythagorean Doctrine, no Theories of the Universe, Munitz, M.K. ed., Heath, T. A History of Greek Mathematics, vol. I (cap. V, Pythagorean Geometry); Dreyer, J.L.E. A History of Astronomy from Thales to Kepler. (cap. II, The Pythagorean School); e Cohen, M.R., and Drabkin, I.E. A Source Book in Greek Science (Pythagorean Astronomy).

(11) A este respeito ver: Simplicius, In Aristotelis quatuor libros de caelo commentaria, livro II, comentário 43. apud Cohen, M.R., and Drabkin, A Source Book of Greek..., p. 97, e Platão, República, VII, 527^b ss.

As idéias cosmológicas de Platão são apresentadas, na sua forma mais completa e final, no *Timaeus*, embora encontremos em outros diálogos, o *Phaedo*, a *República*, e as *Leis*, algumas considerações a este respeito. Sua visão é fortemente influenciada pelo sistema de Pitágoras "que dá ênfase aos números, à uniformidade básica que subordina a aparente irregularidade e ao movimento circular e formas esféricas, como os mais perfeitos de suas espécies"⁽¹²⁾.

Nem sempre é fácil seguir a construção do Universo platônico e há várias opiniões divergentes sobre muitos pontos do seu sistema cósmico. Esta dificuldade se deve, particularmente, ao fato de que os Diálogos de Platão são mais uma meditação filosófica do que o que nós poderíamos chamar de uma ciência sistemática⁽¹³⁾. Além disso, como afirma Dreyer, seus textos "são freqüentemente interrompidos com ilustrações mitológicas a partir das quais seu significado filosófico deve ser extraído, embora haja na realidade uma perfeita concordância entre as passagens claramente enunciadas e aquelas revestidas de imagens mitológicas. Mesmo no único diálogo que é especialmente devotado às questões físicas, o *Timaeus*, Platão misturou mito e ciência"⁽¹⁴⁾.

(12) Cohen, M.R. e Drabkin, I.E., A Source Book of Greek Science, p. 98.

(13) É bem verdade que a distinção por nós empregada aqui entre a ciência sistemática e meditação filosófica é mais moderna que antiga.

(14) Dreyer, J.L.E., A History of Astronomy from Thales to Kepler, 2^a ed., p. 54.

O sistema cosmológico de Platão, embora não desenvolvido detalhadamente e apresentado de uma forma não sistemática, influenciou, e muito, o desenvolvimento posterior da astronomia. Por isso alguns pontos deste sistema devem ser notados.

Segundo Platão, Deus "fez o mundo na forma de um globo, uma esfera, tendo seus extremos em todas as direções equidistantes do centro, a mais perfeita e a mais semelhante a si mesma de todas as figuras; pois ele considerou que o semelhante é infinitamente mais belo que o dessemelhante"⁽¹⁵⁾.

Fora do mundo não havia nada e sua superfície foi, por Deus, arredondada e polida.

No centro dessa esfera repousaria a Terra, que também é esférica⁽¹⁶⁾, a qual permaneceria lá, para não alterar

(15) Platão, Timaeus 33, trad. B. Jowett, Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great book of the Western World, VII). Doravante as citações do Timaeus serão feitas a partir desta tradução.

(16) Nós dissemos que de acordo com Platão a Terra ocupava o centro do Universo e não possuía movimento algum. Porém muitos comentaristas antigos e modernos atribuem a Platão a idéia de que a Terra gira em torno de seu eixo. Estas interpretações se baseiam numa obscura passagem do Timaeus (40B) "A Terra, nossa governanta, gira ao redor de um eixo estendido de polo a polo através do Universo".

Essa passagem é comentada por Aristóteles nos seguintes termos: "Alguns dizem que a Terra, realmente, está colocada no centro, e ainda gira e se move em torno de um eixo estendido através do Universo de polo a polo como está escrito no Timaeus" (Arist., De Caelo II, 13, 293^b, 30).

o equilíbrio simétrico do Universo, sem necessidade de ar ou de qualquer força similar para sustentá-la, já que para Platão "uma coisa em equilíbrio no meio de qualquer substância uniforme não teria causa para inclinar-se mais ou menos para qualquer direção"⁽¹⁷⁾.

A esfera do Universo platônico gira uniformemente de leste para oeste, no mesmo lugar, em torno do seu próprio eixo, que passa pelo centro da Terra.

As estrelas - representando seres eternos, divinos e imutáveis - tal como eram observadas, moviam-se, segundo Platão, com velocidade uniforme em torno da Terra, na mais perfeita e regular de todas as trajetórias, o círculo

continuação da nota 16

Sir Thomas Heath comentando este texto de Aristóteles afirma: "Isto naturalmente implica que Aristóteles atribuía a Platão a visão de que a Terra girava em torno do seu eixo. Tal visão é contudo, inteiramente inconsistente com todo o sistema descrito no Timaeus (e também nas Leis, que Platão não viveu para terminar) onde é a esfera das estrelas fixas que pela sua revolução em torno da Terra em 24 h, faz a noite e o dia; além disso, não há nenhuma razão para duvidar da evidência de que foi Heraclides de Pontos o primeiro a afirmar a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo em 24 horas", (Heath, Sir Thomas, A History of Greek Mathematics, vol. 1, from Thales to Euclides), (Oxford: Clarendon Press, 1921, reimpresso pela Dover Publications, New York, 1981), p. 314. Outros detalhes sobre a prioridade da descoberta da rotação axial da Terra, ver item 1.4 desta tese.

-(17) Platão, Phaedo, 109^a, apud Heath, T., A History of Greek Mathematics, vol. I, p. 310.

interminável⁽¹⁸⁾.

O Sol, a Lua e as cinco estrelas, que são chamadas de planetas, são carregados pela rotação da esfera exterior, "horizontalmente, para a direita", no movimento que, segundo Platão, Deus "chamou de movimento do Mesmo". Além deste movimento cada um dos planetas, no Universo platônico, tem seu próprio movimento circular independente, que faz parte do movimento do círculo interior, chamado movimento do Outro, em um plano que corta o Equador celeste (ver: *Timaeus*, 36^C).

Cornford ao comentar a passagem do *Timaeus* (36^C) onde Platão descreve o movimento do Mesmo e do Outro, apresenta o seguinte diagrama:

(18) O fenômeno da precessão dos equinócios, que corresponde a variação das distâncias das estrelas fixas com respeito aos equinócios, não era conhecido antes de Hipparchos (séc. II A.C.), que descobriu a precessão comparando sua própria determinação da longitude de certas estrelas, feita em 129/128 A.C., com aquela feita por Timocharis, em 283 ou 295 A.C. Hipparchos descobriu, por exemplo, que a distância entre a estrela Spica e o ponto de equinócio de outono havia diminuído 2° durante os 150 anos que separam suas observações daquelas feitas por Timocharis. A esse respeito ver: Dreyer, J.L.E., A History of Astronomy ..., p. 48 e pp. 202-203; Neugebauer, O., A History of Ancient Mathematical Astronomy, parte I, p. 292; e Sarton, G., A History of Science, Ancient Science through the Golden Age of Greece, p. 290.

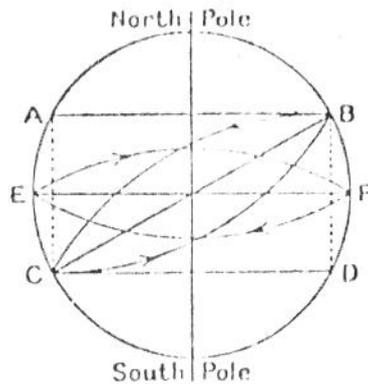


FIGURA II - "AB é um diâmetro do Trópico de verão, CD um diâmetro do Trópico de inverno, CB a diagonal do retângulo obtido pela ligação AC, BD. O movimento do Mesmo é um movimento de toda esfera de leste (esquerda) para oeste (direita) no plano do Equador (EF), que é paralelo aos planos dos Trópicos e deste modo é 'na direção dos lados' AB, CD. O movimento do Diferente (na tradução de B. Jowett denominado de movimento do Outro) é em sentido oposto e no plano da diagonal CB, que é um diâmetro da Eclíptica, um grande círculo que tangencia o Trópico de verão junto ao ponto (B) em Cancer, e o Trópico de inverno junto ao ponto (C) em Capricórnio. O Zodíaco é uma banda larga, contendo doze signos, ao longo de cujo centro gira a Eclíptica"⁽¹⁹⁾.

(19) Cornford, F.M., Plato's Cosmology (The Timaeus of Plato translated with a running commentary), (London: Routledge e Kegan Paul Limited, 1948), p. 73. Segundo Cornford, o movimento do Mesmo é visivelmente manifestado na esfera das estrelas fixas (ver: Cornford, F., Plato's Cosmology, p. 76).

Segundo Koyré o círculo do 'Mesmo' corresponde ao círculo do Zodíaco e o 'do Outro' ao círculo da Eclíptica. (ver: Koyré, A., Études D'Histoire de la Pensée Scientifique, Paris: Édition Gallimard, 1973, p. 31). Esta visão não é compartilhada por Cornford, segundo o qual o círculo do Outro "antes de ser subdividido deve ser identificado com o Zodíaco, mais do que com a Eclíptica" (Cornford, F.M., Plato's ..., p. 76).

Platão considera a 'revolução do Mesmo' superior à 'do Outro', dado que a primeira foi a única que Deus teria deixado sem dividir; enquanto que o movimento do Outro "ele dividiu em seis partes e fez sete círculos desiguais" (ver: *Timaeus*, 36^c - 36^d).

Depois de ter formado o corpo do Sol, Lua e das cinco estrelas 'errantes' (planetas), Deus "colocou-os nas órbitas onde o círculo do Outro estava se movendo - nas sete órbitas sete estrelas: primeiro, encontra-se a Lua, na órbita mais próxima da Terra; e o seguinte, o Sol, na segunda órbita depois da Terra; então vem a estrela da manhã (Vênus) e a estrela consagrada a Hermes (Mercúrio), movendo-se em órbitas com a mesma rapidez que o Sol, mas em direção oposta; e esta é a razão porque o Sol e Hermes e Lucifer (Vênus) alcançam e são alcançados uns pelos outros"⁽²⁰⁾. Quanto aos outros planetas, Platão não entra em detalhes, no *Timaeus*, sobre sua posição, afirmando apenas que eles se movem com "velocidades diferentes tanto entre eles, como em relação aos três primeiros (Sol, Mercúrio e Vênus), mas segundo uma proporção devida"⁽²¹⁾.

Uma vez que cada um dos planetas chegou a sua órbita apropriada, eles começam a girar na órbita do Outro que é oblíqua e "passa através da órbita do Mesmo e é dominada por ela. Uns giram em órbitas maiores e outros em órbitas menores - aqueles que tem órbitas menores giram mais rapidamen-

(20) Platão, *Timaeus*, 38^c-38^e.

(21) Platão, *Timaeus*, 36^d-36^e.

te, e aqueles que tem órbitas maiores mais lentamente. Agora, devido ao movimento do Mesmo, aqueles que giram mais rápido parecem ser alcançados por aqueles que movem-se mais lentamente, embora realmente sejam estes que são alcançados, pois o movimento do Mesmo faz eles todos girarem em espiral"⁽²²⁾.

Assim, segundo Platão a real trajetória, no espaço com respeito a Terra, de qualquer um dos planetas é transformada em uma espiral, isto devido à combinação do movimento do Mesmo (movimento circular de leste para oeste, em um plano paralelo ao equador celeste) com o movimento do Outro (movimento circular em um plano que corta o equador). Tal órbita, obviamente, está incluída entre dois planos paralelos ao equador celeste, sendo a distância entre cada um dos planos e o equador igual ao afastamento máximo de cada um dos planetas em relação ao equador.

Cornford, comentando as conseqüências da teoria do movimento duplo de Platão, afirma que uma delas é a rotação espiral, a qual segundo Cornford, é explicada por Martin como se segue: "O Sol, por exemplo, que neste sistema é um planeta, descreve do solstício de inverno ao solstício de verão, sobre a superfície de uma esfera cujo raio é a distância do Sol ao centro da Terra, uma espiral ascendente contida entre os dois trópicos; então ele desce novamente a partir do solstício de verão ao solstício de inverno descrevendo sobre a mesma esfera uma espiral inversa à anterior. As duas espirais tomadas juntas completam tantas voltas quanto são os dias do ano. As vol

(22) Platão, Timaeus, 38-39^b.

tas das duas espirais tornam-se maiores quando elas aproximam-se do equador, mas elas são todas percorridas em tempos iguais" (Martin, ii, 76). "Se imaginarmos (conclui Cornford) um modelo de esferas celestes revolvendo como um todo para a direita, enquanto os círculos planetários dentro revolvem mais lentamente para a esquerda, a rotação espiral será a trajetória seguida por qualquer um dos planetas sobre uma esfera com o mesmo raio que aquele do círculo do próprio planeta. Não obstante, será verdade que o planeta, com respeito a seu próprio movimento, mantém sempre uma trajetória circular, representada pelo círculo que lhe é fixado"⁽²³⁾.

Assim os movimentos dos planetas, no Universo platônico, embora não constituindo círculos perfeitos, são certamente combinações de círculos perfeitos, já que os planetas, sendo corpos celestes, devem mover-se da maneira mais adequada à sua elevada categoria, ou seja mover-se com o movimento circular uniforme.

A idéia platônica de que o movimento observado dos corpos celestes pode ser decomposto em movimentos circulares e uniformes influenciou todos os sistemas antigos e medievais. Aristóteles, por exemplo, tentou explicar os fatos observados nos Céus por meio de seu sistema de esferas concêntricas que giravam uniformemente.

(23) Cornford, F.M., Plato's Cosmology, p. 114.

1.3- A dinâmica celestial e a mecânica terrestre de Aristóteles

"Sob o alto céu da sempiterna paz gi-
ra uma esfera a cuja influência bela se ani-
ma tudo o que por dentro jaz"

Dante Alighieri ("A divina comédia" ,
Paraíso, canto II, 112-115)*

O Cosmos ou Universo aristotélico tem muitas caracte-
rísticas comuns àquele de Platão. Em ambos os sistemas, o
Universo se contém a si mesmo e é auto-suficiente; e tem co-
mo estrutura básica o Universo das duas esferas, sendo forma-
do por uma pequena esfera – a Terra, suspensa no centro geo-
métrico de uma vasta, porém finita, esfera em rotação, que
leva consigo as estrelas fixas. Além da esfera exterior não
há nada, nem espaço, nem matéria. Diz Aristóteles em seu tra-
tado *De Caelo*:

"A partir de nosso argumento, é evidente que não so

*Na Divina Comédia, escrita por volta de 1300, Dante com-
binou a visão cosmológica de Aristóteles com a concepção cristã
de paraíso, purgatório e inferno. Segundo John North, nesta,
que foi a mais majestosa de todas as alegorias medievais, Dante
teria desenvolvido o tema moral "dentro da estrutura cosmoló-
gica aristotélica. O Paraíso de Dante é mais do que uma conti-
nua sucessão de descrições da felicidade celestial. Ele tem
uma estrutura astronômica, e quando a alma, por exemplo, se
eleva um nível após o outro, os níveis são simplesmente as es-
feras planetárias" (North, J., The Medieval Background to
Copernicus in Copernicus, Yesterday and Today, Beer, A. and
Strand, K. ed., New York: Pergamon Press, 1975, p. 5).

mente não há, mas também que nunca poderia haver qualquer mas sa de nenhum corpo fora da circunferência (habitualmente cha mada de todo ou totalidade, "o Céu"). O mundo como um todo, portanto, inclui toda matéria disponível (...). Portanto, nem há agora, nem houve antes, nem poderá existir mais de um Céu, mas este nosso Céu é um, único e completo".

"Além disso é evidente que não há lugar, nem va zio, nem tempo fora do Céu. Pois em todo lugar há possibili dade de haver um corpo; e o vazio se define como aquele em que a presença de um corpo, embora não real, é possível (...)"⁽²⁴⁾

Uma diferença entre ambas as cosmologias é que a de Aristóteles apresenta vários refinamentos, descrevendo com muito mais detalhes a constituição interior do Universo. Os refinamentos geométricos do sistema aristotélico são deriva dos, na verdade, de Eudoxos e Callipos⁽²⁵⁾.

Além disso, Aristóteles, como afirma Dreyer, ao con trário de Platão "procura a idéia na sua realização concreta nos fenômenos da natureza, e todos os resultados da experiên

(24) Aristóteles, De Caelo I, 279^a (5-15), trad. J.L. Stocks.

(25) Eudoxos, (408 A.C.-355 A.C.), discípulo de Platão, foi o primeiro a responder a pergunta de Platão sobre os movimentos cí clicos dos planetas. No sistema homocêntrico, proposto por Eu doxos, cada planeta se encontra em uma esfera interior de um grupo de duas ou mais delas, interconectadas e concêntricas, cuja rotação simultânea em torno de diferentes eixos repro duz os movimentos observados dos planetas.

cia e observação, portanto, chamavam sua atenção"⁽²⁶⁾.

Sua cosmologia estava fundada na "percepção sensível" e no senso comum e, embora incorporando em seu sistema os artifícios geométricos do sistema matemático das esferas homocêntricas de Eudoxos e Callipos, Aristóteles considera problemática a identificação do espaço concreto do Cosmos, que para ele é finito e ordenado, com o espaço da geometria⁽²⁷⁾.

Dois princípios fundamentais sustentam a cosmologia aristotélica, a saber: "(1) que o comportamento das coisas era devido a formas ou naturezas qualitativamente determinadas, e (2) que em sua totalidade essas naturezas eram arranjadas para formar um todo ou Cosmo hierarquicamente ordenado"⁽²⁸⁾.

A maior parte do Cosmo de Aristóteles, (Figura III) está cheio por um só elemento: o eter, que é um elemento celeste, a quinta essência, puro, eterno, inalterável e incorruptível (Arist., *De Caelo*, 270^b, 20-30).

(26) Dreyer, J.L.E., A History of Astronomy ..., p. 108.

(27) A este respeito é sugestiva uma passagem do De Caelo 239^b 1-5, onde Aristóteles, comentando a cosmologia dos pitagóricos, afirma: "Eles sustentam que a parte mais importante do mundo, que é o centro, seria mais exatamente guardada, e chamam-na, ou melhor ao fogo que ocupa este lugar, altar de Zeus, como se a palavra "centro" fosse inteiramente inequívoca, e o centro da figura matemática fosse sempre o mesmo da coisa ou o centro natural".

(28) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1979), vol. 1, p. 89.

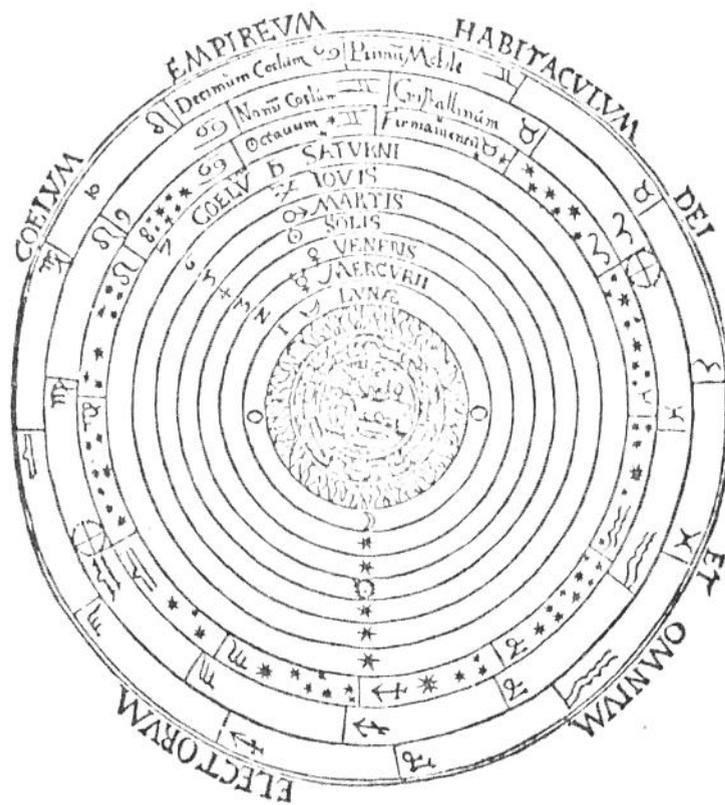


FIGURA III - "Aristotle's cosmology. From Petrus Apianus, Cosmographia per Gemma Phrysius restituta, Antwerp, 1539" apud Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. I, p. 130.

Fixada no centro do Universo estava a esfera da Terra, sendo rodada concêntricamente por uma série de esferas ocas. As primeiras delas correspondem às dos três elementos terrestres, a água, o ar e o fogo respectivamente.

Imediatamente após a esfera de fogo existem, segundo Aristóteles, exatamente cinquenta e cinco esferas crista-

linas interconectadas, cujo centro comum é a Terra⁽²⁹⁾. Cada um dos sete planetas, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, se encontra no interior de um grupo destas esferas, cada uma das quais completa uma revolução axial em intervalos de tempo diferentes reproduzindo assim, com boa aproximação, o movimento planetário e explicando os movimentos irregulares, as estações do ano e os movimentos retrógrados dos planetas, observados temporariamente⁽³⁰⁾.

A função dessas esferas era a de proporcionar uma engrenagem capaz de manter em rotação o conjunto de esferas homocêntricas. O movimento de todo o sistema era transmitido pelo contato de uma esfera com as outras. A esfera das estrelas, em seu movimento, arrasta a mais exterior das sete esferas homocêntricas, que compõem o conjunto que leva consigo Saturno. As rotações axiais destas sete esferas (com diferentes velocidades, algumas vezes em sentidos diferentes e em torno de diferentes eixos) reproduzem o movimento de Saturno, não permitindo que este seja carregado, tal qual uma estrela fi-

(29) O sistema de esferas homocêntricas proposto por Aristóteles encerra em um mecanismo físico o sistema matemático das esferas homocêntricas elaborado por Eudoxos e pelo seu sucessor, Callipos. Assim, para Aristóteles as esferas não são apenas representações de fórmulas matemáticas, mas antes elas tem realidade física compondo uma vasta máquina na qual os corpos celestes são mantidos em movimento.

(30) De um modo geral, os planetas se movem diariamente para oeste sendo carregado pela esfera das estrelas fixas, e simultaneamente deslocam-se lentamente para leste no seu chamado 'movimento normal'. Porém este movimento normal de cada um dos planetas, exceto aquele do Sol e da Lua, é substituído, durante breves intervalos de tempo, por um movimento de retrocesso para oeste, conhecido como movimento retrógrado dos planetas.

xa, pelo movimento diurno da esfera estrelar. Dentro da penúltima esfera do conjunto de Saturno, Aristóteles adiciona uma esfera que, devido a posição dos seus polos, sentido e magnitude da sua velocidade de rotação, se move como se estivesse unida à primeira esfera que, por sua vez, se move junto com a esfera das estrelas fixas. Portanto a última esfera do grupo das sete esferas de Saturno se move da mesma forma que a esfera das estrelas fixas. E esta última esfera transmitirá o movimento ao seu vizinho mais próximo, a primeira esfera do planeta seguinte, Júpiter. Assim Júpiter se moverá como se as esferas de Saturno não existissem. Uma engrenagem semelhante àquela que Aristóteles propôs para as esferas de Saturno, ele propõe para os outros planetas. Através deste mecanismo o movimento é finalmente transmitido à esfera mais baixa, aquela responsável pelo movimento da Lua (para mais detalhes ver Dreyer, *A History of Astronomy ...*, cap. V).

A última esfera, a da Lua, divide o Universo em duas regiões nitidamente distintas, a terrestre e a celestial, ocupadas por materiais distintos e governadas por leis distintas. Todas as coisas que compõem a região celestial, a saber, as estrelas, os planetas e as esferas cristalinas, são feitas de éter. Todas as coisas que pertencem à região terrestre, por outro lado, são feitas de um dos quatro elementos terrestres: a terra, o ar, o fogo e a água (ou de uma combinação deles).

No Universo aristotélico, cada uma das coisas, seja celestial ou terrestre, tem seu lugar "natural" e seu mo-

vimento local "natural"⁽³¹⁾ para este lugar. Todo movimento que não é natural é violento.

Além de dividir o movimento local em natural e violento, Aristóteles divide o movimento natural em movimento celestial, que é circular e uniforme; e o terrestre, que é retilíneo (ou para cima ou para baixo).

A tendência do movimento para cima ou para baixo das coisas terrestres depende da natureza da substância de que o corpo particular é composto.

Assim o lugar natural da Terra, que é absolutamente pesada, é no centro do Universo (que, por sua vez, coincide com o centro da Terra) e seu movimento natural é para baixo, ou seja em direção ao centro do Universo; o lugar natural da água é a região imediatamente após a região central e seu movimento é para baixo, exceto na região central; o lugar natural do fogo, que é absolutamente leve, é a região externa da esfera sublunar e seu movimento é para cima em relação ao centro do Universo; finalmente o lugar natural do ar

(31) O conceito aristotélico de movimento (kinesis) não corresponde a um estado, como ocorre na dinâmica moderna, mas a uma espécie de processo de mudança, é a "realização (grifo meu) do que existe potencialmente, na medida em que existe potencialmente" (Arist., Physica, III, cap. 1, 201^a, 10). E, como afirma Aristóteles, "é sempre com respeito a substância ou quantidade ou qualidade ou lugar que o que muda muda" (Arist., Physica, III, cap. 1, 200^b, 30-35). Assim o movimento para Aristóteles inclui não apenas a locomoção, como também outros tipos de mudanças, como alteração qualitativa, geração e corrupção.

é a região intermediária entre a água e o fogo, e seu movimento natural é para cima exceto na região do fogo (a este respeito ver: Arist., *De Caelo*, IV, cap. 4, 311^b, 5-15). O lugar e o movimento natural dos corpos compostos por mais de um elemento correspondem àqueles do elemento predominante.

Todo movimento local, para Aristóteles, é ou retilíneo ou circular, ou uma combinação destes dois, isto porque, segundo ele estas duas linhas, retilínea e circular são as únicas magnitudes simples (ver: Arist., *De Caelo*, I, cap. 2, 268^b, 14-15). No caso dos corpos simples, que são entendidos, por Aristóteles, "como aqueles que possuem um princípio de movimento em sua própria natureza"⁽³²⁾, seus movimentos de vem ser ou retilíneos ou ao redor de um centro (ver: Arist., *De Caelo*, 268^b, 10-30).

E embora o movimento circular seja natural para os corpos celestes, ele é não-natural para os terrestres, pois afirma Aristóteles, "todo movimento ou é natural ou não-natural (forçado), e aquele movimento que é não-natural para um corpo é natural para outro - assim, por exemplo, é o caso com o movimento para cima e para baixo, que é natural e não-natural para o fogo e para a terra respectivamente. Segue-se necessariamente que o movimento circular, sendo não-natural para estes corpos é o movimento natural para algum outro (...).

(32) Aristóteles, *De Caelo*, I, 268^b, 30. Aristóteles con tinua sua definição de corpos simples, corpos regidos por um princípio único, apresentando dois exemplos: "o fogo e a ter ra com suas espécies e tudo quanto for semelhante a eles".

Se, por outro lado, o movimento de rotação dos corpos em torno de um centro fosse não-natural, seria extraordinário e na verdade inconcebível que este movimento fosse contínuo e eterno, sendo contrário à natureza"⁽³³⁾.

Deste argumento segue-se necessariamente que se a Terra girasse em torno de seu próprio eixo, como propôs Heráclides de Pontos, um discípulo de Platão (no séc. IV A.C.) , o seu movimento não poderia ser eterno, já que é não-natural.

Para que o movimento de rotação axial da Terra fosse eterno, segundo a dinâmica aristotélica, ele deveria ser o movimento "natural" da mesma. Porém, se assim o fosse, todas as partículas que pertencem à Terra deveriam, cada uma delas, compartilhar, com a Terra, de seu movimento "natural", movendo-se então, "naturalmente", segundo uma trajetória circular. Mas não é isto que é observado; elas, pelo contrário, movem-se ao longo de uma linha reta em direção ao centro do Universo.

Portanto o movimento circular seria para a Terra forçado e não-natural. Mas "como todas as coisas cujo movimento é violento e não-natural são movidas por algo, e algo exterior a elas"⁽³⁴⁾ (um motor em contato direto), temos que

(33) Aristóteles, De Caelo, I, 269^a(3), 269^b(1-10).

(34) Aristóteles, Physica, VIII, 255^b, 30-35, trad. R.P. Hardie e R.K. Gaye, Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great book ..., VIII). Doravante todas as citações da Physica serão feitas a partir desta tradução.

para que o movimento da Terra fosse eterno, contínuo e infinito, haveria a necessidade de que algo exterior a ela causasse este movimento infinito, porém "nada, finito pode causar movimento que dure um tempo infinito" (Arist., *Physica*, 266^a, 10-25) e uma força infinita não pode residir em uma magnitude finita. Mesmo no caso da Terra ser movida por algo que está, ele próprio, em movimento, e que, novamente, é movido por algo exterior que está em movimento, e assim continuamente, segundo afirma Aristóteles, a série não poderia ir ao infinito (ver Arist., *Physica*, livro VII, 242^a, 15-20). Portanto o movimento de rotação da Terra, em torno do seu próprio eixo, "sendo não-natural e violento, não poderia ser eterno; porém a ordem do Universo é eterna" (Arist., *De Caelo*, livro II, 14, 296^a, 25-30).

Segue-se que: o movimento circular observado no Universo sendo eterno, não pode ser atribuído à Terra.

Embora o sistema das esferas homocêntricas, proposto por Aristóteles, como modelo explicativo dos movimentos celestes, desse conta das principais irregularidades planetárias, tais como os movimentos retrógrados dos planetas, e todos os sistemas que postulavam que o Universo era formado de uma série de esferas concêntricas não conseguiam dar conta de um certo número de fenômenos óbvios, em particular a variação no brilho aparente dos planetas e no diâmetro aparente da Lua, e do fato de que os eclipses solares são algumas vezes totais e algumas vezes anulares.

Esta dificuldade dos sistemas das esferas homocêntricas se deve ao fato de que eles supunham que a distância

entre cada corpo celeste e a Terra era invariável. Assim sendo todos os fenômenos celestes deveriam ser explicados simplesmente por meio das rotações das diversas esferas.

Vários astrônomos gregos, depois de Aristóteles, tentaram formular sistemas que explicassem os fatos de que o sistema aristotélico não dava conta. Entre eles destaca-se o proposto por Apollonios (240-170 A.C.) e Hipparchos (190-120 A.C.): o sistema de epiciclo e deferente.

1.4- As primeiras teorias heliocêntricas: Heráclides de Pontos e Aristarchos de Samos

Embora Platão e Aristóteles nunca tenham abandonado a idéia de que a Terra permanecia em repouso, no centro do Universo, enquanto o Céu girava de leste para oeste fazendo o dia e a noite; e embora a cosmologia aristotélica tenha dominado o pensamento ocidental até meados do século XVI, alguns antigos adotaram sistemas claramente contrários às cosmologias platônica e aristotélica, dotando a Terra de algum tipo de movimento.

Entre os primeiros a acreditarem no movimento da Terra, além de Philolaus e de alguns membros da escola pitagórica, como vimos anteriormente destacam-se: Heraclides (Heracleides, Herakleides) de Pontos (387-315/310 A.C.), um contemporâneo de Aristóteles e talvez aluno de Platão, que considerava o Cosmo infinito e defendia uma teoria semi-heliocêntrica, segundo a qual Vênus e Mercúrio giram, como sa-

térites, ao redor do Sol, enquanto que este e outros corpos celestes giram ao redor da Terra, que por sua vez gira em torno de seu próprio eixo em 24 horas (ver Figura IV); e Aristarchos de Samos (310-230 A.C.), precursor de Copérnico, que supôs que as estrelas fixas e o Sol estão imóveis, mas que a Terra possui dois movimentos, o de rotação diurna em torno do seu eixo e de translação ao redor do centro do Universo, onde está o Sol.

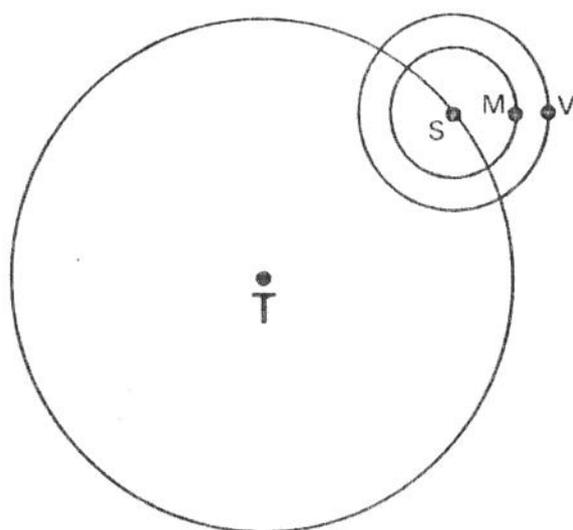


FIGURA IV - Sistema semi-heliocêntrico de Heraclides de Pontos.

Devemos notar que Heraclides pode não ter sido o único a sustentar a hipótese da rotação axial diária da Terra, já que Ecphantus de Siracusa (Séc. IV A.C.), um pitagórico, segundo Hippolytus, também teria afirmado que "a Terra, o centro do Universo, move-se ao redor de seu próprio centro na

direção leste"⁽³⁵⁾. Cícero, por sua vez, apelando para a autoridade de Theophrastus, dá a prioridade da teoria da rotação axial da Terra a Hicetas (? - 338 A.C.), também de Siracusa. Afirma Cícero: "Hicetas ... sustentava que o Céu, o Sol, a Lua, e as estrelas, todos os corpos celestes, em poucas palavras, estão em repouso; e que nada no Universo move-se, exceto a Terra, e como a Terra gira e roda em torno de seu eixo a velocidade muito alta o efeito é exatamente o mesmo, como se o Céu estivesse rodando e a Terra estivesse em repouso"⁽³⁶⁾.

Porém muito pouco se sabe sobre os trabalhos de Ecphantus e Hicetas; dessa forma não se pode afirmar com certeza se eles realmente pensaram na rotação axial da Terra.

Quanto a Heraclides de Pontos, não há dúvida que ele pensou na rotação axial da Terra, nem há dúvida com respeito à originalidade de sua teoria semi-heliocêntrica.

"Heraclides de Pontos (afirma Simplicius) supôs que a Terra está no centro e gira (lit. move-se em um círculo) enquanto o Céu está em repouso, e ele pensou isto para salvar as aparências"⁽³⁷⁾.

(35) Hippolytus, Refutation of All Heresies I, 15. apud Cohen, M. and Drabkin I.E., A Source Book in Greek Science, p. 106.

(36) Cicero, Academica II, 39-123, apud Cohen M. and Drabkin I.E., A Source Book ..., p. 106.

(37) Simplicius, Commentary on Aristotle's De Caelo, p. 519, 9-11, apud Heath, T., A History of Greek ..., p. 317.

Porém, embora Heraclides tenha dado o primeiro passo em direção à teoria heliocêntrica, ele ainda manteve a Terra no centro do Universo. O próximo passo só foi dado por Aristarchos de Samos, um genial astrônomo e geômetra, que deslocando a Terra do centro do Universo, desenvolveu um sistema astronômico que antecipou as hipóteses heliocêntricas de Copérnico.

O sistema de Aristarchos pode ser descrito nas palavras de um jovem contemporâneo seu, e, talvez, seu principal comentador: Archimedes (287-212 A.C.). No *Arenarius* Archimedes afirma:

"Você (Rei Gelon) está ciente de que 'Universo' é o nome dado por muitos astrônomos à esfera cujo centro é o centro da Terra, que seu raio é igual a linha reta entre o centro do Sol e o centro da Terra ... Mas Aristarchos publicou um livro considerando certas hipóteses, no qual aparece, como uma consequência destas suposições, que o Universo é muitas vezes maior do que o 'Universo' mencionado acima. Suas hipóteses são que as estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis, que a Terra gira em torno do Sol em uma circunferência de um círculo, o Sol repousa no meio da órbita^{*}, e que a esfera das

* O significado preciso da última frase é duvidoso (O. Neugebauer *Isis*, 32 (1942), 6) traduz assim: "a circunferência de um círculo que repousa no meio do curso (dos planetas)"; e Dreyer (*A History of Astronomy ...*, p. 37) traduz assim: "a Terra é carregada ao redor do Sol em um círculo que está no meio do curso", e Dreyer comenta, em seguida, que este círculo é aquele "que nós chamamos de eclíptica que naqueles dias era conhecida como círculo médio do Zodíaco".

estrelas fixas, situada ao redor do mesmo centro que o Sol, é tão grande que o círculo, no qual ele supôs a Terra revolver, mantém uma proporção tão grande em relação à distância das estrelas fixas quanto o centro da esfera mantém em relação a sua superfície"⁽³⁸⁾.

O cálculo da distância entre a esfera da órbita da Terra e o centro desta esfera, ou seja da distância entre a Terra e o Sol, que repousa no centro do Universo, foi desenvolvido por Aristarchos, através de um método extremamente engenhoso no qual ele calcula as distâncias comparativas do Sol e da Lua em relação à Terra.

Este cálculo é apresentado no extenso tratado 'Sobre os tamanhos e as distâncias do Sol e da Lua'⁽³⁹⁾ que começa com seis hipóteses a partir das quais Aristarchos pretende provar dezoito proposições, por meio de demonstrações absolutamente rigorosas.

(38) Archimedes, Sand-Reckoner ou Arenarius, apud Heath T., A History of Greek ..., vol. II, p. 3.

(39) Aristarchos de Samos, On the Sizes and Distances of the Sun and Moon, trad. J.L. Heath (Oxford, 1913). A respeito deste que foi o único tratado de Aristarchos que foi preservado devemos notar que nele Aristarchos não se refere as suas hipóteses heliocêntricas, talvez, porque estas hipóteses tenham sido formuladas depois dele escrever o tratado em questão. Se bem que seu método geométrico de cálculo das distâncias comparativas do Sol e da Lua independa da real posição da Terra, do Sol e da Lua; ele se baseia nas posições relativas destes corpos celestes.

As três primeiras hipóteses são:

"1) que a Lua recebe a luz do Sol"

"2) que a Terra se comporta como um ponto e centro para a esfera na qual a Lua se move"

"3) que, quando a Lua nos parece dividida em duas partes iguais, o grande círculo que divide as porções clara e escura da Lua está na direção do nosso olho"⁽⁴⁰⁾.

Dado que a Lua recebe sua luz do Sol, no momento da dicotomia os centros do Sol, Lua e Terra formam um triângulo retângulo, como mostra a figura abaixo:

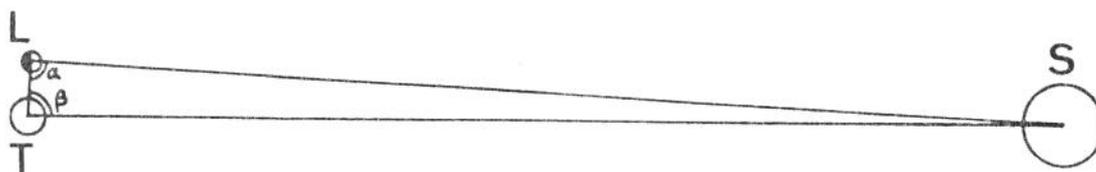


FIGURA V - Medidas de Aristarchos das distâncias relativas do Sol e da Lua à Terra, onde α , ângulo formado junto à Lua, é um ângulo reto.

(40) Samos, Aristarchos, On the Sizes and Distances of the Sun and Moon, trans. T.L. Heath, apud Cohen, M. and Deabkin, I.E., A Source Book in Greek Science, p. 109.

Além destas hipóteses, Aristarchos faz mais três, duas das quais são necessárias para o cálculo das distâncias comparativas do Sol, Lua em relação à Terra.

A primeira corresponde a uma estimativa do ângulo β , aquele formado junto a Terra no momento da dicotomia da Lua, como sendo "menor do que um quadrante, por 1/30 de um quadrante" (hipótese 4), isto é 87° ⁽⁴¹⁾. A outra, é a hipótese 5, de acordo com a qual "a largura da sombra (da Terra) é de duas Luas" isto é a largura da sombra da Terra quando a Lua a atravessa é de duas Luas.

A sexta e última hipótese é: "que a Lua subtende 1/15 de um signo do zodíaco"⁽⁴²⁾ ou seja 1/15 de 30° , portanto o diâmetro angular aparente da Lua seria de 2° .

Dado que Aristarchos supõe que os diâmetros angulares do Sol e da Lua junto ao centro da Terra são iguais, se o diâmetro angular da Lua é igual a 2° , o do Sol também será.

(41) Arthur Berry, ao comentar em 1889 esta medida, afirma que (o erro que Aristarchos cometeu ao determinar este ângulo) "é devido a dificuldade em determinar com precisão suficiente o momento quando a Lua está meio cheia: o contorno divisório das partes clara e escura da face da Lua é na realidade (devido as irregularidades da superfície da Lua) uma linha debil e mal definida, tal que a observação na qual Aristarchos baseou seu trabalho não poderia ter sido feita com qualquer precisão até mesmo com nossos modernos instrumentos, muito menos com aqueles disponíveis no seu tempo" (Berry, Arthur, A Short History of Astronomy, § 32, pp. 34-35.

(42) Idem nota 40, p. 110.

Porém Archimedes atribui a Aristarchos a descoberta de que o diâmetro angular aparente do Sol é cerca de $1/720$ do círculo do Zodíaco, isto é, $0,5^\circ$, determinação esta bastante próxima do valor real.

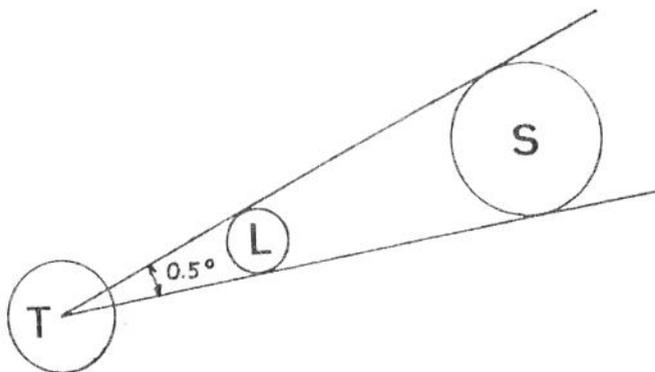


FIGURA VI - Medida de Aristarchos do diâmetro angular aparente do Sol.

Ou a descoberta que Archimedes atribui a Aristarchos foi feita depois da publicação do tratado 'Sobre os tamanhos e distâncias...' ou, como sugere Heath, a hipótese nº 6 não deve ser entendida como um dado determinado pela observação, pois "como a matemática de seu tratado não depende do real valor tomado, 2ª pode ter sido suposto (por Aristarchos) meramente como ilustração; ou pode ter sido uma conjectura sobre o diâmetro aparente feita antes dele ter pensado na ten

tativa de medi-lo"⁽⁴³⁾.

A partir das cinco primeiras hipóteses descritas acima, Aristarchos se acha apto a demonstrar, por exemplo, a proposição nº 7 do seu tratado, é ela:

"A distância do Sol à Terra é mais do que dezoito vezes maior e menos do que vinte vezes, a distância da Lua à Terra"⁽⁴⁴⁾.

Embora esta estimativa das distâncias relativas do Sol e da Lua em relação à Terra tenha representado um grande aperfeiçoamento sobre todos os resultados obtidos até então, ele ainda estava muito longe da real avaliação, segundo a qual o Sol está cerca de quatrocentas vezes mais longe da Terra do que a Lua.

O erro de Aristarchos se deve à enorme dificuldade em se determinar, com precisão, o ângulo junto a Terra no momento da dicotomia. Segundo a avaliação de Aristarchos este ângulo é de 87° , quando na realidade é de $89,5^{\circ}$ ⁽⁴⁵⁾. Esta imprecisão levou Aristarchos a estimar, erradamente, o ângulo

(43) Heath, T., A History of Greek Mathematics, vol. II, p. 4. Sir Thomas Heath nota que não é conhecido como Aristarchos chegou ao valor de $0,5^{\circ}$, um valor tão preciso, para o diâmetro aparente do Sol. Mas como é creditada a ele a invenção de um relógio de Sol aperfeiçoado, ele pode, segundo Heath, ter usado este instrumento para efetuar tal medida.

(44) Samos, A.; On the Sizes ..., apud. Cohen, M. and Drabkin, J.E., A Source book ..., p. 110.

(45) Com respeito às dificuldades em se efetuar esta medida ver nota 41 deste capítulo.

junto ao Sol como sendo 3° .

A dificuldade em se determinar com precisão os ângulos internos do triângulo formado pela Terra, Sol e Lua no momento da dicotomia, quando então o ângulo junto a Lua é de 90° , se deve à impossibilidade de se saber, exatamente, quando a metade do disco da Lua está iluminado pela luz do Sol.

Portanto a imprecisão na estimativa, de Aristarchos, das distâncias comparativas do Sol e da Lua em relação à Terra se deve exclusivamente a dificuldades práticas. "Aqui (na investigação de Aristarchos), nós encontramos (como afirma Heath) uma seqüência lógica de proposições e rigor absoluto das demonstrações característica da geometria grega"⁽⁴⁶⁾.

Devemos notar que a hipótese heliocêntrica de Aristarchos teve pouco sucesso na antiguidade. Primeiro porque ela contrariava a doutrina filosófica aristotélica, então dominante, segundo a qual o lugar natural da Terra era no centro do Universo. Segundo porque, como notaram Cohen e Drabkin, ela também ia contra a "doutrina de um fogo central (dos pitagóricos) que, em várias formas, tornou-se uma matéria de crença religiosa (cf. Plutarch, *De facie in orbe lunae*, 922 F - 923 A). Os astrônomos, contudo, de um modo geral rejeitaram as hipóteses heliocêntricas sobre bases científicas. Se a Terra gira em uma órbita ao redor do Sol, a posição das estrelas fixas tal como observada a partir de várias partes da órbita da Terra deveria variar. Uma vez que tal variação não

(46) Heath, T., A History of Greek Mathematics, vol. II, p. 4.

era observada na antiguidade (...) Aristarchos foi compelido a supor que a esfera das estrelas fixas era incomparavelmente maior do que a esfera que continha a órbita da Terra"⁽⁴⁷⁾. Assim Aristarchos explicou a ausência de paralaxe estelar e salvou as hipóteses heliocêntricas.

(47) Cohen, M.R. e Drabkin, J.E., A Source book in Greek Science, p. 107. Cabe notar que o fenômeno da paralaxe estelar só foi detectado a partir de 1830, e sua observação requer um telescópio e técnicas de observação bastante apuradas já que a variação na posição das estrelas é extremamente pequena.

Segundo Koyré, "Aristarchos não teve sucesso, e não se sabe porquê. Por vezes se disse que a idéia do movimento da Terra contradizia demasiadamente as concepções religiosas dos gregos. Penso que, antes, foram outras as razões que determinaram o insucesso de Aristarchos, certamente as mesmas que, desde Aristóteles e Ptolomeu até Copérnico, se opuseram a toda hipótese não-geocêntrica: foi a invencibilidade das objeções físicas contra o movimento da Terra. (...) Ora, para a física antiga, o movimento circular (de rotação) da Terra, no espaço se afigura — e devia afigurar-se — como oposto a fatos incontestáveis e em contradição com a experiência quotidiana; em suma, como uma impossibilidade física. Ainda outra coisa constituia obstáculo à aceitação da teoria de Aristarchos, a saber, a grandeza desmesurada de seu Universo, pois se os gregos admitiam que o Universo era bastante grande em relação à Terra (...), ainda assim as dimensões postuladas pela hipótese de Aristarchos lhes pareciam excessivamente inconcebíveis (...). Também se dizia (...) que, se não se verifica nenhuma paralaxe, é que a Terra não gira. Admitir que a abóbada celeste é tão grande que as paralaxes das fixas não são observáveis parecia contrário ao bom senso e ao espírito científico" (Koyré, A., Études d'histoire de la pensée ..., p.

Além do problema da paralaxe, as hipóteses heliocêntricas de Aristarchos não tiveram sucesso em explicar alguns outros fenômenos, como a desigualdade das estações.

Esta é, como salientam Cohen e Drabkin, a provável razão porque Hipparchos e (mais tarde Ptolomeu) adotaram as hipóteses geocêntricas, que juntamente com os excêntricos, epiciclos e deferentes, tornaram-se o sistema astronômico dominante não só na antiguidade como também na Idade Média.

1.5- Sistema de Epiciclo e Deferente

Este novo mecanismo matemático, cujo objetivo era unicamente explicar o movimento planetário com respeito à esfera das estrelas, é composto, na sua forma mais simplificada, de um pequeno círculo (o epiciclo) que gira uniformemente ao redor de um ponto situado sobre a circunferência de um segundo círculo em rotação (o deferente). Cada planeta percorreria a circunferência do epiciclo, cujo centro se movimentaria ao longo da circunferência do deferente, que por sua vez está centrada, segundo a versão mais simplificada, na Terra (ver Figura VII).

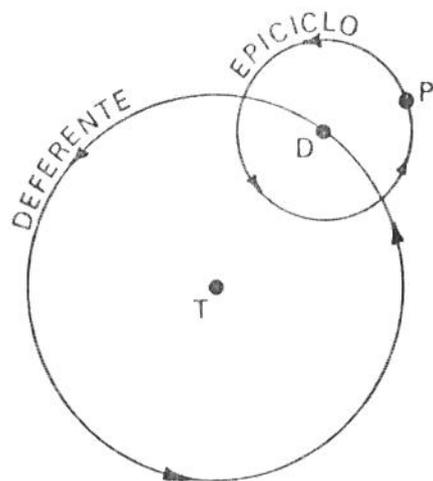


FIGURA VII - Esquema básico da hipótese do epiciclo-deferente. Onde o planeta P gira ao longo de um epiciclo cujo o centro D descreve um deferente centrado na Terra.

O movimento do epiciclo quando visto a partir do centro do deferente ora aparece como acelerado ora como retardado. Além disso em alguns momentos, como mostra a Figura VIII, ele aparece como um movimento retrógrado.

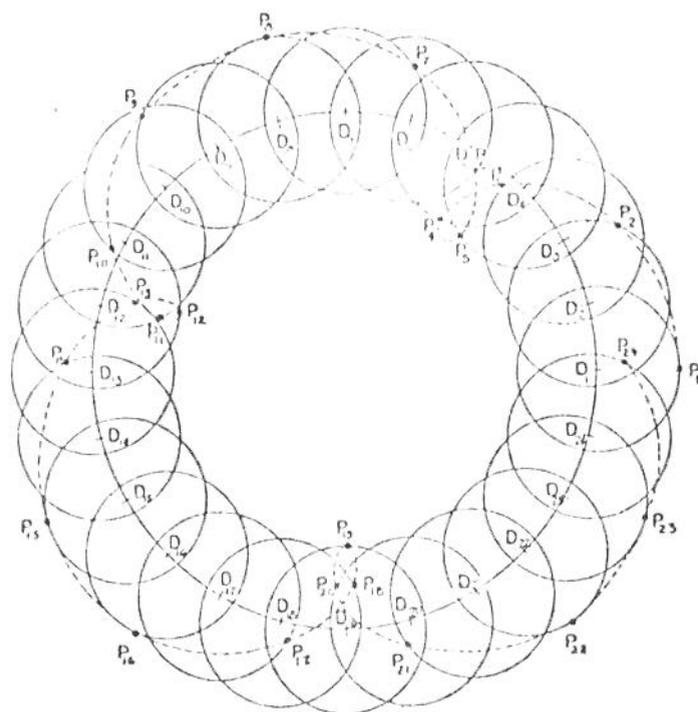


FIGURA VIII - (extraída do Cohen M.R., e Drabkin J.E., A Source book of Greek Science, p. 129). Onde P_n corresponde às diversas posições do planeta P que é carregado sobre o epiciclo cujo centro D_n descreve um deferente, ocupando as posições D_n , ao redor de um centro onde encontra-se um observador.

"Um deslocamento de 50° pelo planeta sobre o epiciclo, como mostra a Figura VIII, corresponde a um deslocamento de 15° por D . A partir do centro, P parecerá mover-se rapidamente ou lentamente, para trás e para frente, dependendo de sua posição sobre o epiciclo"⁽⁴⁸⁾.

(48) Cohen, M.R. e Drabkin, J.E., A Source book of Greek Science, p. 130.

Porém o sistema de um só epiciclo associado a um só deferente não deu conta de todos movimentos observados dos planetas. A concepção inicial do sistema em questão, proposta por Apollonios, resolvia as irregularidades planetárias mais importantes - movimento retrógrado, variação de brilho, desigualdade entre os períodos de tempo requeridos para as sucessivas trajetórias ao longo da eclíptica. Algumas outras irregularidades secundárias foram explicadas pelo sistema de Hipparchos, que introduziu no sistema de Apollonios epiciclos secundários e excêntricos com centro fixo⁽⁴⁹⁾. Porém ainda restavam alguns resultados observacionais que não se ajustavam à teoria.

Tornou-se então necessária a introdução de novas modificações geométricas que ajustassem o esquema de um epiciclo - um deferente aos movimentos observados. Várias tentativas, neste sentido foram feitas na antiguidade, entre elas destaca-se aquela feita por Ptolomeu no século II D.C.

(49) Os epiciclos secundários são círculos complementares cuja finalidade é oferecer pequenos ajustes quantitativos entre a teoria e a observação (ver apêndice técnico). Outro dispositivo utilizado para corrigir discrepâncias secundárias é a introdução de excêntricos que corresponde a um deferente cujo centro se encontra deslocado com respeito à Terra. Este sistema é geometricamente equivalente ao sistema de epiciclo e deferente. O movimento do Sol pode ser explicado tanto por meio de um epiciclo secundário (epiciclo menor) associado a um deferente, quanto por meio de excêntricos como o fizeram Hipparchos e Ptolomeu, desde que sejam escolhidos - para o deferente, o epiciclo e o círculo excêntrico - raios, direções e velocidades apropriadas.

1.6- Astronomia Ptolomaica

"Aristóteles foi o último grande cosmólogo da antiguidade, e Ptolomeu, que viveu quase cinco séculos mais tarde, o último grande astrônomo. A obra de ambos dominou o pensamento ocidental nos campos da astronomia e cosmologia até depois da morte de Copérnico, ocorrida em 1543, Copérnico parece ser seu herdeiro direto".

T. Kuhn, (The Copernican Revolution, cap. IV)

O sistema astronômico de Ptolomeu, exposto na sua principal obra *Ἡ Μαθηματικὴ Σύνταξις* - a compilação matemática - (mais tarde chamada, pelos gregos, de *Ἡ Μεγίστη Σύνταξις* - a maior compilação - e que os árabes traduziram sob o título *Al Majisti*, cuja contração deu *Almagesto*, que corresponde à forma como esta obra tornou-se conhecida até hoje), foi a base do pensamento astronômico dominante até o começo do século XVII, sendo o mais exato e o mais amplamente aceito entre aqueles conhecidos na antiguidade clássica e no mundo árabe.

Nos seus conceitos físicos o sistema ptolomaico era, basicamente, aristotélico. Quanto aos aspectos matemáticos Ptolomeu os derivou a partir de princípios atribuídos a Platão, tentando mostrar todos os fenômenos celestes como produtos de movimentos regulares e circulares.

Além dessas duas influências, o trabalho de Ptolomeu está baseado, em grande medida sobre o trabalho de Hipparchos,

cujo importante tratado astronômico não existe mais"⁽⁵⁰⁾.

Freqüentemente se tem interpretado o sistema astronômico de Ptolomeu, exposto no *Almagesto*⁽⁵¹⁾, como apenas um algoritmo geométrico bem elaborado por meio do qual pretendia-se dar conta dos fenômenos observados, ou "salvar as aparências". Interpretações deste tipo foram defendidas por exemplo por Heath e Duhem⁽⁵²⁾.

Thomas Kuhn, comentando a astronomia matemática desenvolvida por astrônomos, como Hipparchos e Ptolomeu, per-

(50) Apenas um livro sem importância de Hipparchos foi preservado, e nosso conhecimento do seu trabalho é derivado quase que inteiramente dos escritos de seu grande admirador e discípulo, Ptolomeu. A maior de todas as descobertas de Hipparchos, talvez, seja a da precessão dos equinócios (ver nota 18).

(51) Segundo T. Kuhn o *Almagesto* foi o "primeiro tratado matemático sistemático que dava uma explicação completa, detalhada e quantitativa a todos os movimentos celestes". (*The Copernican Revolution*, cap. II, p. 72.

(52) Duhem comentando a filosofia dos árabes, afirma que eles "quando tentaram examinar essas hipóteses (excêntricos e epiciclos), quando tentaram descobrir sua verdadeira natureza (...); quiseram transformar em realidade, em esferas sólidas rolando em meio aos Céus, os excêntricos e os epiciclos que Ptolomeu e seus sucessores declaravam ser artifícios de cálculo" (Duhem, P., *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, *Annales de Philosophie Chrétienne* (ser 4) 79/156 (1908). Traduzido por Roberto Martins, sob o título 'Salvar os fenômenos, Ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileo', *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Suplemento 3/1984, CLE, Unicamp, p. 23. Para outros detalhes ver o ensaio acima citado.

tencentos à tradição helenística⁽⁵³⁾, afirma que "os cientistas helenísticos aceitavam sem nenhum mal-estar aparente uma tácita e parcial separação entre astronomia e cosmologia"⁽⁵⁴⁾.

E embora encontremos alguns tratados cosmológicos de autores helenísticos, como é o caso do *Hypotheseis tòn planomenôn* de Ptolomeu, segundo Kuhn, este e todos os outros astrônomos helenísticos quando elaboravam seus sistemas matemáticos para predizer as posições planetárias, não se preocupavam com a realidade física de seus artifícios geométricos.

Nós, por outro lado, acreditamos que não se pode dizer que o próprio Ptolomeu pretendesse apenas construir um artifício geométrico, isto pode ser evidenciado nas palavras de Ptolomeu, no livro I, cap. 2 - Sobre a Ordem dos Teoremas - de seu livro *Almagesto* quando ele apresenta os seus objetivos ao compor tal livro:

(53) "A civilização helenística, surgida depois das conquistas guerreiras de Alexandre Magno, centrou-se em metrópoles comerciais e cosmopolitas, como Alexandria, onde a confluência de sábios de diferentes países e raças e o confronto de suas diversas culturas deu como produto uma ciência menos filosófica, mais matemática e mais numérica que sua predecessora, a ciência helênica" (Kuhn, The Copernican Revolution, cap. 4). Esta última, por sua vez, nascida na Grécia continental durante a época em que esta dominou o vale mediterrâneo, tinha um método essencialmente qualitativo e sua orientação era cosmológica; sendo Aristóteles seu maior e último representante.

(54) Kuhn, T., The Copernican Revolution, cap. 4, p. 104.

"Uma visão da relação geral entre toda a Terra e o todo dos Céus dará início a esta composição".

"... e pretendemos encontrar aquilo que é evidente e aquilo que é aparente, a partir das observações feitas pelos antigos e por nós próprios, e aplicar as conseqüências destes conceitos por meio de demonstrações geométricas".

"E assim, de uma maneira geral nós temos que afirmar que o Céu é esférico e se move esfericamente; que a Terra, em forma, é sensivelmente esférica; em posição, está exatamente no meio do Universo tal como um centro geométrico; em magnitude e distância, se comporta como um ponto em relação à esfera das estrelas fixas, não tendo qualquer movimento local"⁽⁵⁵⁾.

A posição de A.C. Crombie com respeito ao trabalho de Ptolomeu é bastante similar àquela por nós defendida aqui. Ele afirma: "a suposição com a qual ele (Ptolomeu) começa (o *Almagesto*) de que o Céu é esférico na forma e gira como uma esfera, de que a Terra é o centro desta esfera e é imóvel, de que os corpos celestes movem-se em círculos, não é certamente uma suposição arbitrária, pois sem tentar prová-la absolutamente, ele tentou torná-la o mais plausível possível. De fato, na sua escolha de suposições e hipóteses, Ptolomeu foi guiado, parece, não por um critério arbitrário, mas antes por con

(55) Ptolomeu, C., Almagesto, livro I, cap. 2, trad. R. Catesby Taliaferro, Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952. (Great books of the Western World, XVI). Doravante as citações do Almagesto serão feitas a partir desta tradução.

siderações físicas e metafísicas as quais ele via como empiricamente testadas"⁽⁵⁶⁾.

Porém, conclui Crombie, "deve-se admitir que na sua teoria planetária Ptolomeu usou artifícios geométricos que subordinavam questões das reais trajetórias físicas dos planetas e os princípios aceitos da física aristotélica à precisão dos cálculos. Esta é a fonte da sua reputação de um cientista convencionalista"⁽⁵⁷⁾.

Um exemplo desta postura de Ptolomeu é o fato de que embora seu sistema astronômico fosse basicamente aristotélico, o artifício do epiciclo e deferente não se adaptava, muito bem, às esferas cristalinas da cosmologia aristotélica.

Porém esta incompatibilidade não parece ter sido um grande problema para os astrônomos helenísticos, para os quais a realidade física das esferas cristalinas e dos mecanismos que asseguravam o movimento dos planetas era um problema secundário. De um modo geral as cascas esféricas tinham, para eles, uma realidade no mínimo metafórica⁽⁵⁸⁾. O *Almagesto*, segundo Kuhn, não indica claramente se Ptolomeu

(56) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1974, 4rd ed.), vol. I, p. 96.

(57) idem, p. 97.

(58) Maiores detalhes sobre a postura dos astrônomos ptolomaicos, diante das cascas esféricas de Aristóteles ver Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap. III e IV e Duhem, P., Salvar os Fenômenos, citado nota 52).

acreditava ou não em alguma forma de esferas cristalinas.

Seja como for, os astrônomos de um modo geral, até os tempos de Copérnico, acreditavam numa versão adaptada da cosmologia aristotélica, supondo a existência de uma casca esférica para as estrelas e uma para cada planeta, as quais estariam engrenadas entre si e teriam uma espessura tal que fosse capaz de conter no seu interior o conjunto de epiciclos e outros círculos atribuídos a cada planeta.

Do ponto de vista matemático os sistemas quantitativos desenvolvidos por Hipparchos, Ptolomeu e seus sucessores são demasiado complexos para serem abordados aqui⁽⁵⁹⁾. Porém alguns pontos destes sistemas devem ser notados, já que como afirma Kuhn, "as dificuldades que levaram Copérnico a buscar um novo enfoque para o problema dos planetas e a superioridade que atribuía a seu novo sistema se encontram neste abstruso *corpus* teórico quantitativo"⁽⁶⁰⁾.

Embora as irregularidades dos movimentos do Sol e da Lua já tivessem sido avaliadas quantitativamente por Hipparchos, no século III A.C., por meio de uma combinação de epiciclos secundários e excêntricos com centro fixo (ver nota 49), as regularidades e irregularidades quantitativas observadas nos movimentos aparentes dos sete planetas, tais como

(59) Grande parte dos 13 livros que compõem o Almagesto constam de tabelas trigonométricas, diagramas, fórmulas, demonstrações, extensos cálculos ilustrativos e longas listas de observações.

(60) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap.II, p.72.

vistas a partir da Terra, sô foram reproduzidas por Ptolomeu que acrescentando excêntricos móveis (que já eram conhecidos por Apollonios, no séc. III A.C.) e o equante⁽⁶¹⁾ ao sistema de epiciclos e deferentes, explicou, além do movimento dos planetas, os movimentos do Sol e da Lua (ver Figura IX).

O movimento diário de todos os planetas é produzido, segundo o sistema ptolomaico, pela rotação da esfera estrelar de leste para oeste, que é compartilhada por todo o sistema.

Ao introduzir os equantes, Ptolomeu afastou-se da máxima de Platão - segundo a qual somente movimentos circulares uniformes poderiam ser usados para explicar os movimentos celestes; fazendo os planetas moverem-se com velocidades não uniformes com respeito a seu centro e de maneira excên-

(61) O artifício dos excêntricos móveis supõe que cada um dos planetas move-se em um círculo, cujo centro não é a Terra, mas sim um ponto situado entre a Terra e o Sol, e que, por sua vez, se move ao longo de um outro círculo ao redor da Terra. O equante, foi outro dispositivo utilizado por Ptolomeu para tentar reconciliar a teoria dos epiciclos com os resultados observacionais. Segundo ele, cada um dos planetas se desloca ao longo de um epiciclo cujo centro desloca-se ao longo de um outro círculo (o deferente) com velocidade variável determinada pela condição de que a linha que vai do ponto equante ao centro do epiciclo em questão percorre ângulos iguais em tempos iguais. Assim se a tal linha percorre 30° em 30 dias então ela deverá percorrer sempre 30° a cada 30 dias. O ponto equante é escolhido precisamente para reproduzir a velocidade, aparentemente não uniforme dos planetas. A utilização dos equantes para explicar os movimentos solares é apresentada no apêndice técnico deste capítulo.

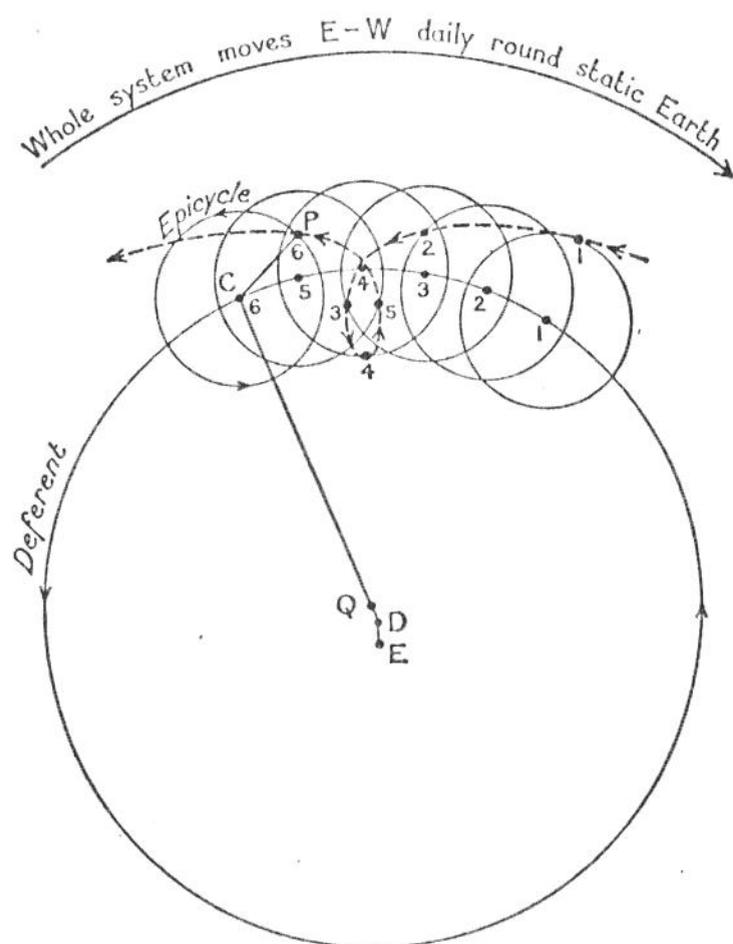


FIGURA IX - Dispositivo geométrico do sistema de epiciclos de Ptolomeu para o movimento de um planeta P, (extraído de Crombie, A.C. *Augustine to Galileo*, vol. I, p. 98), segundo o qual o movimento diário de P é produzido pela rotação de leste para oeste que ele compartilha com a esfera estelar. O movimento aparentemente irregular de P é produzido, de acordo com o sistema ptolomaico, pelo movimento de P através do epiciclo centrado em C, que por sua vez gira ao longo do deferente cujo centro D não coincide com o centro da Terra (E); e C não se move uniformemente nem em relação a D nem em relação a E, mas em relação a um terceiro ponto, o equante Q, ao redor do qual C tem velocidade angular uniforme, tal que C Q percorre ângulos iguais em tempos iguais.

trica. Embora, ao fazer o ponto equante girar com velocidade angular uniforme, de alguma forma, Ptolomeu tentasse preservar o princípio básico de Platão.

Copérnico, porém, não aceitou tal violação por parte dos ptolomaicos. Suas objeções estéticas aos equantes foram um dos pontos essenciais da crítica copernicana a Ptolomeu, como podemos sentir num pequeno resumo escrito por Copérnico, por volta de 1514: "... as teorias planetárias de Ptolomeu e de muitos outros astrônomos, embora consistentes com os dados numéricos, apresentam igualmente dificuldades que não são pequenas. Isto porque estas teorias não são adequadas, a não ser que se concebam determinados equantes; parece então que um planeta não se move com velocidade uniforme nem no seu deferente, nem relativamente ao centro de seu epiciclo. Conseqüentemente, um sistema deste tipo não parece ser nem suficientemente absoluto, nem suficientemente agradável ao espírito".

Apesar de seu não-platonismo, de algumas pequenas, porém reconhecidas inexatidões, e de sua excessiva complexidade (contrastando com a simplicidade do Universo das duas esferas) o sistema de Ptolomeu gozou de grande credibilidade por quase quinze séculos, dominando o pensamento astronômico europeu até o começo do século XVII.

Entre os treze séculos que separam a morte de Ptolomeu e o nascimento de Copérnico não foi produzida nenhuma mudança fundamental no sistema ptolomaico; alguns dos sucessores de Ptolomeu tentaram apenas aumentar a precisão nas predições das posições dos planetas, introduzindo novos epici-

culos e excêntrico aos excêntricos, porém com isto aumentaram a complexidade do seu sistema.

Também o pensamento cosmológico associado ao sistema de Ptolomeu, a saber a teoria aristotélica do Universo das duas esferas, constituiu parte fundamental do pensamento cosmológico dominante até as primeiras décadas do século XVII.

Muitos historiadores concluem, a partir desta constatação, que a ciência foi algo inexistente durante os séculos que separam as vidas de Ptolomeu e Copérnico. Kuhn, por outro lado, afirma que: "a atividade científica, embora intermitente, foi muito intensa durante esta época e desempenhou um papel essencial na preparação do terreno para o nascimento e posterior triunfo da revolução copernicana"⁽⁶²⁾.

(62) Kuhn, T.S. The Copernican Revolution, cap. IV, p. 99.

CAPÍTULO 2

COPÉRNICO E SUA REVOLUÇÃO

"Devemos antes compreender a sabedoria da natureza que, assim como foi particularmente cuidadosa em nada produzir de supérfluo, também muitas vezes, dotou uma coisa com muitas propriedades".

Nicolau Copérnico^{*}

2.1- Introdução

Dizíamos no capítulo anterior, que entre os treze séculos que separam Copérnico de Ptolomeu a astronomia planetária progrediu muito pouco, não surgindo nenhuma teoria que

* Copernici, Nicolai, Opus De Revolutionibus Caelestibus, Manu Propria, Anno MDXLIII, Faksimile-Wiedergabe (München und Berlin: Verlag R. Oldenbourg, 1944), ou De Revolutionibus Orbium Caelestium, Libri sex, 1543 (München: Verlag R. Oldenbourg, 1949); Cap X, Livro Primeiro. Doravante as citações do De Revolutionibus... serão feitas a partir da tradução de Chales G. Wallis. On the revolutions of the heavenly spheres, Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great books of the Western World, XVI).

apresentasse qualquer mudança fundamental no *corpus* teórico dominante. Copérnico começa onde Ptolomeu havia parado.

Esta constatação nos leva a pensar duas questões que, a nosso ver, são fundamentais: a) Porque tardou tanto tempo para ocorrer uma revolução na astronomia, enquanto que outras áreas do conhecimento, como a lógica, física e metafísica, em fins da Idade Média já apresentavam um grande desenvolvimento?; b) Quais foram as características, deste período da Idade Média, que influenciaram Copérnico a encetar uma revolução na astronomia?

Além de discutir o contexto da descoberta copernicana, creio que também é fundamental, para a compreensão da inserção da revolução galileana no pensamento científico e filosófico dos séculos XVI e XVII, a discussão das idéias centrais do tratado astronômico de Copérnico, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, e os argumentos e justificativas apresentadas por ele em favor do sistema cósmico aí defendido.

2.2- Origem do copernicanismo

2.2.1- Idade média: uma longa e tenebrosa noite dos mil anos?

"Assim, (...), comecei também eu a especular acerca da mobilidade da Terra. Embora a idéia parcesse absurda, eu sabia que a outros antes de mim fora concedida a liberdade de imaginar os círculos que quisessem para salvar os fenômenos celestes, pensei, portanto, que também me fosse facilmente permitido experimentar se, uma vez admitido algum movimento da Terra, poderia encontrar demonstrações mais seguras do que as deles a respeito das revoluções dos orbes celestes"

N. Copérnico*

O pequeno desenvolvimento da astronomia na baixa Idade Média não é um fato isolado; a ciência como um todo sofreu uma estagnação muito grande durante esse período⁽¹⁾. Isto se deveu, principalmente, ao fato de que a Igreja católica, nestes primeiros séculos medievais, estava se organi-

* Copérnico, N., De Revolutionibus ... , Ad Sanctissimum Dominum Paulum III Pontificem Maximum, Nicolai Copernici praefatio in libros Revolutionum.

(1) Cabe lembrar que o declínio da atividade científica já havia se iniciado durante o Império Romano. Raramente se encontra qualquer contribuição científica, exceto na área do Direito, feita pelos romanos.

zando a fim de consolidar a sua autoridade espiritual e intelectual. "A ciência era para eles (os primeiros padres) um saber profano; salvo quando era necessária para a vida cotidiana, era no melhor dos casos, inútil, e, no pior, uma perigosa distração"⁽²⁾.

Além disso, a crença, que dominou os primeiros séculos da era cristã, de que todo saber necessário ao homem estava contido nas Escrituras, levou alguns a negarem as teorias astronômico-cosmológicas dos antigos por considerá-las contrárias as Escrituras.

O próprio Aristóteles, durante os séculos IV à XII, recebeu severas críticas eclesiásticas pela aparente incompatibilidade entre sua cosmologia e as Escrituras, sendo, em 1210, em Paris, proibido o ensino da física e da metafísica aristotélicas.

Embora esta condenação tenha caído em letra morta e Aristóteles tenha continuado a ser estudado nas escolas e Universidades, ela foi seguida de outras condenações de artigos e proposições aristotélicas (entre os quais estavam a doutrina da eternidade do mundo e da unicidade do intelecto) culminando com a condenação em 1277, pelo Bispo de Paris Étienne Tempier, de 219 proposições e argumentos deterministas extraídos da, ou baseados na, filosofia de Aristóteles.

Aristóteles nega a possibilidade do vácuo (*Physica*, IV, cap 6-9), do infinito real (*Physica*, III, cap 4-8), e

(2) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap. IV, p. 106.

de mundos plurais (*De Caelo*, I, cap 8, 276^b, 10-20). E ao fazê-lo ele está limitando os poderes de Deus, o que os filósofos cristãos não poderiam aceitar.

Alguns pensadores, como Lactancio e Cosma Indicopleustes, chegaram a propor cosmologias alternativas baseadas em princípios bíblicos, porém elas jamais foram adotadas oficialmente pela Igreja⁽³⁾. E mesmo com a postura anti-aristotélica do clero, na baixa Idade Média, a cosmologia do "Universo das duas esferas" nunca chegou a ser completamente abandonada ou substituída.

A despeito desta postura de negligência, por parte da Igreja para com a ciência natural, a Idade Média não foi uma 'longa e tenebrosa noite dos mil anos' onde a atividade científica foi substituída pelo dogma religioso⁽⁴⁾. Os monges em seus mosteiros preservaram muitas das obras da antiguidade greco-romana, porém o acesso a tais obras na baixa Idade Média era exclusivo aos membros do clero. As únicas es

(3) Copérnico se refere a Lactancio na carta-prefácio do seu *De Revolutionibus* ... nos seguintes termos: "De fato, não é desconhecido que Lactancio, célebre escritor, aliás, mas fraco matemático, fala da forma da Terra de maneira perfeitamente infantil quando zomba dos que proclamam que a Terra tem a forma de um globo. Portanto, não deve parecer estranho aos estudiosos se alguns semelhantes zombarem de nós também".

(4) Embora a Igreja tenha sido a autoridade intelectual dominante na Europa Medieval e parte da Renascentista, o dogma religioso era menos rigoroso na Idade Média do que em épocas posteriores, principalmente depois da Reforma e Contra-Reforma Religiosa.

colas existentes eram mantidas por mosteiros e destinadas à formação de monges.

Uma das mais poderosas influências no pensamento cosmológico medieval corresponde aos trabalhos de alguns pensadores do fim da antiguidade, tais como Clemente de Alexandria (160-205) e seu discípulo Orígenes (185-254), Basil (séc. IV) e Agostinho (354-430). Esses pensadores - os primeiros na era cristã a apresentarem um profundo conhecimento das fontes gregas - dedicaram-se a reconciliar a cosmologia dos antigos com as Escrituras.

Porém, embora presente, o estudo das obras da antiguidade greco-romana durante o fim da antiguidade e começo da Idade Média, estava mais voltado para a contemplação de verdades previamente alcançadas pelos antigos do que para a busca de novas verdades. Praticamente todos os trabalhos produzidos correspondem a comentários e enciclopédias.

Entre os trabalhos enciclopédicos destaca-se o tratado sobre História Natural de Plinius, o velho, (século I) pela sua influência em todo pensamento medieval.

No que se refere ao conhecimento astronômico dos primeiros séculos cristãos, ele está contido principalmente nos trabalhos enciclopédicos de Plinius, o velho; Martianus Capella (século V), que preservou a teoria semi-heliocêntrica

de Heráclides de Pontos⁽⁵⁾, e nos de Isidoro de Sevilha (século VII).

Além destes trabalhos, são importantes, enquanto fontes de conhecimento astronômico medieval, os trabalhos de: Chalcidius (século IV), que traduziu e comentou o *Timaeus* de Platão; Proclus (século V), comentador de parte do *Timaeus*, da *República* e do *Parmenides* de Platão, e dos *Elementos* de Euclides; Macrobius (século V), comentador do fragmento de Cícero, *Somnium Scipionis*; Boetius (século VI), cujos trabalhos foram as principais fontes para o estudo de matemática

(5) Copérnico, no cap. X do livro I do seu De Revolutionibus ..., dedicado à ordem das esferas celestes, questiona a necessidade da Terra ocupar o centro ao qual a ordem dos corpos celestes se refere. Ele considera que não se deve desprezar os argumentos de Martianus Capella e de outros escritores latinos, os quais, segundo Copérnico, "efetivamente pensam que Vênus e Mercúrio fazem sua revolução à volta do Sol, situado no meio deles, e julgam que por isso não se afastam dele mais do que a curvatura das suas esferas o permite, porque não giram ao redor da Terra como os restantes, mas têm as suas apsides voltadas em direção oposta. Que outra coisa querem dizer senão que o centro das suas esferas está próximo do Sol?" (Copérnico, N., De Revolutionibus ..., livro I, cap X).

Sobre a teoria semi-heliocêntrica de Heracleides de Pontos ver item 1.4 do cap I desta tese.

e lógica até o século XII⁽⁶⁾; e Simplicius (século VI), comentador do *De caelo*, *Physica*, *De anima* e *Categorias* de Aristóteles.

A partir do século VII todo o conhecimento científico, na Europa Ocidental, teve que se limitar a estas compilações e comentários, muitas vezes imprecisos e intelectualmente adulterados, como fonte documental. Isso se deveu principalmente à erupção dos invasores muçulmanos que confinaram os cristãos europeus ao norte, privando-os de todos os manuscritos que preservavam a tradição antiga e permitia sua transmissão. Embora uma gradual destruição material do conhecimento ocidental já houvesse se iniciado com a penetração dos bárbaros a partir do século IV, no Império Romano Ocidental.

"Neste isolamento intelectual da cristandade ocidental dificilmente se poderia esperar qualquer contribuição para o conhecimento humano do Universo material. Tudo o que o Ocidente foi capaz de fazer foi preservar as coleções de fatos e interpretações já feitas pelos enciclopedistas"⁽⁷⁾.

A civilização muçulmana, por sua vez, nos séculos seguintes, tanto quanto se sabe, embora raramente introduzin

(6) Boethius também traduziu, para o Latim, alguns textos de lógica elementar de Aristóteles e fez compilações dos: Elementos de Euclides e de alguns tratados como os de Nicomachos e Ptolomeu. Às composições citadas pode-se, talvez, adicionar aquelas feitas por Bade (século VIII), Alcuin de York (século VIII) e German Hrabanus Maurus (século IX).

(7) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. I, p. 32.

do qualquer inovação no domínio das teorias científicas, conservou e traduziu muitos dos documentos da ciência grega, aperfeiçoou instrumentos de observação e construiu tabelas bastante precisas⁽⁸⁾.

Com a relativa estabilização política da cristandade europeia por volta do século X e a reconquista de muitos dos seus territórios, incrementou-se o intercâmbio comercial entre a Europa e o mundo árabe. Isso teve como conseqüência a gradual redescoberta do saber antigo que culminou, no século XII, com o que poderíamos chamar de o "Primeiro Renascimento".

O conhecimento que agora começava a penetrar na Europa Ocidental, embora baseado nos trabalhos da antiguidade grega, vinham através de manuscritos e traduções árabes, freqüentemente acompanhados de observações adicionais e comentários dos próprios árabes.

Uma das conseqüências disso foi que, algumas das teorias de Aristóteles, que já eram contrárias aos ensinamenen

(8) Cabe notar que nos estudos de Óptica e Perspectiva os árabes introduziram algumas contribuições importantes, entre as quais destacam-se aquelas feitas pelo neo-platônico Alkindi (século IX) e por Alhazen (?965-1039) que estudou espelhos esféricos e parabólicos, câmara escura, lentes e a visão, entre outras coisas. Os árabes também introduziram importantes e originais contribuições nos campos da alquimia, magia e astrologia. Para eles não havia uma distinção clara entre magia e ciência natural; as causas físicas e ocultas eram consideradas como igualmente capazes de produzirem fenômenos físicos.

tos da Igreja (ver pp.63.4) tornaram-se duplamente suspeitas. Isto porque as traduções e comentários árabes, através dos quais as idéias de Aristóteles chegavam à Europa Ocidental, neste período, como afirma Crombie, "davam ênfase à suas características absolutamente deterministas. A interpretação árabe de Aristóteles era fortemente colorida pela concepção neo-platônica da cadeia do ser; indo da matéria primeira através da natureza inanimada e animada, do homem, dos anjos e da inteligência (pura) até Deus como a origem de tudo. Quando comentadores como Alkindi, Alfarabí, Avicenna e, particularmente, Averrões (1126-1198) introduziram a idéia muçulmana da criação no sistema aristotélico, eles interpretavam isso de modo a negar o livre arbítrio não apenas ao homem mas até mesmo ao próprio Deus. Segundo eles o mundo havia sido criado não diretamente por Deus, mas por hierarquia de causas necessárias começando com Deus e descendo pelas várias inteligências que moviam as esferas celestes até que a inteligência movendo a esfera da Lua causasse a existência de um Intelecto Ativo separado que era comum a todos os homens e a causa única de seus conhecimentos. A forma do espírito humano já existia neste Intelecto Ativo antes da criação do homem. Depois da morte cada espírito humano unia-se novamente a ele. Junto ao centro do Universo dentro da esfera da Lua, isto é na região sublunar, foi gerada uma matéria fundamental comum, matéria prima, e depois os quatro elementos. A partir dos quatro elementos foram produzidos, sob a influência das esferas celestes, plantas, animais e o próprio homem.

Vários pontos deste sistema são inteiramente ina-

ceitáveis para os filósofos da cristandade ocidental do século XIII. Ele negava a imortalidade do espírito humano individual, negava o livre arbítrio humano e dava oportunidade para a interpretação de todos os comportamentos humanos, em termos de astrologia. Era rigidamente determinista, negando que Deus pudesse ter agido de qualquer outra forma, exceto aquela indicada por Aristóteles"⁽⁹⁾.

O trabalho de reconstrução do pensamento antigo se viu seriamente prejudicado, visto que muitas vezes as traduções árabes não reproduziam fielmente os textos gregos. Acrescenta-se a isso que as traduções dos textos árabes e gregos para o latim foram bastante dificultadas devido: a) complexidade intrínseca dos textos técnicos e da terminologia técnica; b) dificuldade do domínio da linguagem envolvida.

Freqüentemente as traduções eram feitas de forma

(9) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. I, p. 72.

As interpretações deterministas de Aristóteles, associadas a comentários como os de Averróes, estavam incluídas entre as proposições condenadas em 1277. Esta condenação do determinismo segundo alguns historiadores da ciência medieval como Duhem, agiu como instrumento de libertação da ciência medieval do domínio das suposições e conclusões metafísicas e cosmológicas de Aristóteles, abrindo caminho para a crítica da ciência natural e metafísica aristotélicas. Em 14 de fevereiro de 1325 a condenação é anulada (Para outros detalhes sobre as condenações dos livros de Aristóteles e a influência destas sobre o futuro desenvolvimento da ciência medieval ver: Grant, E., A Source Book in the Medieval Science, Cambridge: Harvard University Press, 1974, pp. 42-52).

literal e muitas palavras eram simplesmente transliteradas a partir de suas formas arábicas. Isso ocorria porque o vocabulário do latim medieval, no que se refere as matérias abstratas e técnicas, era pobre; e o significado dessas palavras não era perfeitamente entendido. Mesmo as melhores traduções se viam, como nota Kuhn, "inevitavelmente deterioradas pelas sucessivas transcrições efetuadas por homens que não compreendiam total e perfeitamente o conteúdo do texto traduzido" (10).

A partir do fim do século XII e começo do século XIII iniciou-se a redescoberta de muitos dos originais antigos. Alguns deles, possivelmente, foram levados de Constantinopla para a Itália no final da quarta Cruzada, em 1204. Gradualmente, as traduções passaram a ser feitas diretamente

(10) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap. IV.

Koyré, comentando as primeiras traduções de obras filosóficas e científicas gregas para o latim, afirma que elas não foram feitas diretamente do grego e sim através do árabe não somente porque não havia ninguém, no Ocidente que soubesse grego, "mas também e talvez principalmente porque não havia ninguém capaz de compreender livros tão difíceis como a Física ou a Metafísica, de Aristóteles, ou o Almagesto, de Ptolomeu, e porque, sem a ajuda de Alfarabí, de Avicenna ou de Averrões, os latinos nunca teriam tido acesso a tais obras. É que não basta saber grego para compreender Aristóteles ou Platão — eis aí um erro freqüente entre os filósofos clássicos — é preciso, além disso, saber filosofia" (Koyré, A., Aristotelism et Platonism, Études d'histoire de la pensée ... , p. 26.

do grego.

Embora no século XIV as traduções a partir do árabe tivessem praticamente cessado, a maioria dos trabalhos astronômicos, até o século XV, continuaram a ser feitos a partir de traduções e comentários árabes do *Almagesto* de Ptolomeu⁽¹¹⁾, como é o caso do texto *Sphaera Mundi*, escrito em 1233 por John de Halifax (ou Holywood) ou, como era mais conhecido, Johannis de Sacrobosco.

Embora não introduzindo nenhum progresso, nem qualquer observação de importância, esse foi o texto astronômico mais estudado nas escolas durante três ou quatro séculos.

A preocupação dos astrônomos em trabalhar diretamente a partir das fontes gregas surge com Georg von Peurbach (1423-1461), astrônomo austríaco que juntamente com seu dis-

(11) Heath comentando as traduções do *Almagesto* para o Latim afirma que "uma tradução (diretamente) do grego foi feita por volta de 1160 por um escritor desconhecido para um certo Henricus Aristippus, arqui-diácono de Catania, o qual tinha sido mandado por William I, Rei da Sicília, para uma missão ao Imperador bizantino Manuel I. Comnenus em 1158, trouxe de volta consigo um manuscrito grego da *Syntaxis* como um presente" (Heath, T., *A History of Greek Mathematics*, vol. II, p. 275).

Koyré, em seu artigo sobre a contribuição científica da renascença, afirma que: "os grandes textos científicos gregos que eram desconhecidos ou mal conhecidos, na época anterior (ã renascença), são traduzidos, editados ou retraduzidos e reeditados. Assim, na realidade é somente no século XV que Ptolomeu é verdadeiramente traduzido integralmente para o latim" (Koyré, A., *L' Apport scientifique de la renaissance, Étudee d' histoire de la ...*, p. 53).

cípulo alemão Johann Müller de Königsberg (1436-1476), também conhecido como Regiomontanus, é o primeiro a introduzir algum progresso na astronomia.

Peurbach considera que muitas das imprecisões do sistema ptolomaico (por exemplo as inexatidões das Tábuas Alfonsinas, que são baseadas em tal sistema) se deviam à má qualidade das traduções árabes; portanto fazia-se necessário o estudo dos originais de Ptolomeu. Porém Peurbach morre antes de completar o seu trabalho com as fontes gregas, o que é feito por Regiomontanus e publicado em 1496.

2.2.2- A crítica medieval à dinâmica aristotélica

Num primeiro momento os eruditos medievais dedicaram-se à reconstrução do pensamento dos antigos. A interpretação e a crítica, com algumas excessões, só vieram anos mais tarde com os escolásticos. Entre estas excessões destaca-se a crítica à dinâmica de Aristóteles feita, no início da Idade Média, pelo cristão neo-platônico Philoponus de Alexandria (século VI) ⁽¹²⁾.

(12) Devemos notar que algumas partes da dinâmica de Aristóteles já haviam sido criticadas na Grécia antiga, por exemplo, por Hipparchos (séc. II A.C.) e Plutarchos (50-125).

Hipparchos, segundo Simplicius, opôs-se à visão aristotélica do movimento de projéteis, declarando que no caso dos projéteis "arremessados para cima é a força projetora que é a causa do movimento para cima, já que a força projetora domina a tendência para baixo dos projéteis, e que na me-

Philoponus parece ter sido o primeiro medieval a sustentar que a causa do movimento violento (tal como o movimento de projéteis) não pode ser o meio, como é previsto pela dinâmica aristotélica segundo a qual todo movimento local, natural ou violento, é regido por uma mesma lei, de acordo com a qual a velocidade (v) de um corpo que se move em uma dada distância é proporcional à razão entre a força motriz (F) em contato direto com o corpo móvel, e a resistência ou densidade do meio (R) ou, numa notação moderna:

continuação da nota (12)

dida em que esta força projetora predomina, o objeto move-se mais rapidamente para cima; então quando a força diminui: 1) o movimento para cima continua mas não na mesma proporção, 2) o corpo move-se para baixo sob a influência de seu impulso interno, embora a força original subsista em alguma medida, e 3) como esta força continua a diminuir o objeto move-se para baixo mais rapidamente, e mais rapidamente quando esta força estiver inteiramente perdida" (Simplicius, Commentary on Aristotle's De Caelo 264.20-267.6 (Heiberg), apud Cohen, M.R. and Drabkin, I.E., A Source Book in Greek ..., p. 209).

Uma teoria similar é utilizada por Hipparchos para explicar o movimento dos corpos que caem "diz ele (continua Simplicius) a força que os segura permanece com eles até um certo ponto, e este é o fator restringente que responde pelo movimento mais lento junto ao início da queda" (Simplicius, apud Cohen, M.R. and Drabkin, I.E., A Source Book ..., p. 209).

Simplicius, como vemos, parece indicar que em Hipparchos já existia a idéia de que alguma coisa se mantém no objeto, ao longo de seu movimento, que é responsável por este movimento.

Sobre Plutarchos ver: Emile Meyerson, Identité et Réalité, 5^a édition, Paris, J. Vrin, 1951, pp. 114-119 e pp. 526-529.

$$v \propto \frac{F}{R}$$

A força motriz é, para a dinâmica aristotélica, a causa de todos os movimentos. Cessada a ação que ela exerce sobre o corpo em movimento, cessa o movimento, já que "tudo que é movido deve ser movido (segundo Aristóteles) por algo" (Arist., *Physica*, 241^b 24): *cessante causa cessat effectus*.

"... Todas as coisas (afirma Aristóteles) cujo movimento é violento e não-natural são movidas por algo, e algo diferente delas próprias, e todas as coisas cujo movimento é natural são movidos por algo — tanto aquelas que são movidas por si (por exemplo os animais) como aquelas que não são movidas por si (por exemplo as coisas leves e pesadas, que são movidas ou por aquilo que produziu a coisa como tal e a fez leve ou pesada, ou por aquilo que liberta o que estava impedindo ou prendendo"⁽¹³⁾). Assim, no caso do movimento natural dos objetos inanimados terrestres (movimento de queda livre) a força motriz é identificada com o peso (que mede a tendência interna de um corpo pesado a mover-se para o centro do Universo). Quanto ao movimento violento (tal como o lançamento de uma flecha ou pedra horizontalmente ou verticalmente para cima) no início a força projetora é identificada com F. Depois que os projéteis não estão mais em contato direto com o motor que os lançou, para que seu movimento se mantenha, é necessário uma forma contínua em contato com

(13) Aristóteles, *Physica*, livro VIII, 255^b, 30-35.

eles. Aristóteles postula que "o motor em tais casos move algo mais ao mesmo tempo, que os que lança ..., isto é, move também o ar, e que este ao ser movido é também um motor" (ver Aristóteles, *Physica*, 266^b, 30).

O movimento violento é também discutido por Aristóteles no livro IV da *Physica* onde ele afirma que: os projéteis são movidos adiante mesmo depois que aquilo que deu a eles seu impulso não esteja mais tocando-os, ou 1) pela razão da substituição recíproca, de acordo com a qual o ar empurrado adiante pelo projétil, volta e toma o lugar do projétil, e então empurra-o adiante como alguns sustentam; ou 2) pelo fato de que o ar, que foi empurrado, no instante em que o projétil é inicialmente disparado, move-se com um movimento mais rápido do que a locomoção natural, para baixo, do projétil, empurrando assim o projétil adiante (Aristóteles parece abraçar esta segunda explicação para o movimento retilíneo violento, como é mencionado na *Physica*, 266^b.28 - 267^a.15, e 215^a.15).

Este movimento violento se mantém até que a força motriz originalmente impressa nesta porção de ar se dissipe. Assim o meio, para Aristóteles, oferece tanto a força motriz como a resistência.

Segue-se que, dentro da dinâmica aristotélica, nenhum movimento é possível no vácuo. Por um lado, sem o meio, um movimento violento não teria causa, uma vez perdido o contato entre o corpo móvel e o motor que o lançou. Por outro lado, a resistência sendo nula, as velocidades de todos os objetos em movimento, quer natural quer violento, no vácuo,

seriam iguais e infinitas, e portanto haveria movimentos instantâneos (ver: Arist., *Physica*, IV, 8), o que é, para Aristóteles, absurdo⁽¹⁴⁾.

Philoponus ao rejeitar a idéia aristotélica com respeito a causa do movimento violento e movimento contrário à natureza, afirma que os argumentos de Aristóteles não lhe parecem convincentes. Pois, segundo Philoponus, realmente nada, suficientemente satisfatório, é apresentado como prova de que o "movimento contrário à natureza ou movimento forçado é causado por um dos modos enumerados por Aristóteles ..."

"Pois no caso da *antiperistasis** há duas possibilidades: 1) o ar que foi empurrado adiante pela flecha ou pedra projetada move-se de volta para a traseira e toma o lugar da flecha ou pedra, e estando então atrás ele empurra-a adiante, o processo continua até o *impetus* do projétil se exaurir, ou, 2) não é o ar empurrado à frente mas o ar dos lados que toma o lugar do projétil ...".

(14) Este é um dos argumentos usados por Aristóteles contra a possibilidade do vácuo, pois "diz-se que o vácuo é aquilo em que é possível mas não existe a presença de um corpo" (Arist., *De Caelo*, I, 279^a (12-16)) e havendo um corpo e este recebendo uma força motriz, por exemplo, para cima, seu movimento seria instantâneo (ver: Arist., *Physica*, 215-216).

* O termo antiperistasis é usado geralmente para descrever os processos através dos quais " P_1 empurra P_2 para o lugar de P_3 , P_2 empurra P_3 para o lugar de P_4 ..., P_{n-1} empurra P_n para o lugar de P_1 " (Cohen, M. and Drabkin, I.E., A Source Book ..., p. 221_n).

"Deixe-nos supor (continua Philoponus) que a *antiperistasis* ocorre de acordo com o primeiro método indicado acima Sobre esta suposição seria difícil dizer o que é (uma vez que parece não haver força contrária) que faz o ar, uma vez empurrado adiante, mover-se de volta, isto é ao longo dos lados da flecha, e depois alcançar a traseira da flecha, voltando uma vez mais e empurrando a flecha adiante. Pois, nesta teoria, o ar em questão deve realizar três movimentos distintos: ele deve ser empurrado para frente pela flecha, então mover-se para atrás, e finalmente voltar e continuar para frente uma vez mais. Todavia o ar é facilmente movido, e uma vez colocado em movimento atravessa uma distância considerável. Como então, pode o ar, empurrado pela flecha, deixar de mover-se na direção do impulso impresso, mas em lugar disso, virar, como por algum comando, e retrair seu curso? Além disso, como pode este ar, ao virar, evitar de ser disperso no espaço, mas colidir precisamente sobre o entalhe final da flecha e novamente empurrar a flecha adiante e presa a ele? Tal visão é inteiramente inacreditável e chega a ser fantástica"⁽¹⁵⁾.

Além da explicação pela *antiperistasis*, Aristóteles, como vimos, apresenta uma outra explicação para o movimento de projéteis, de acordo com a qual o ar tendo sido empurrado, por exemplo, junto com a flecha lançada, empurra-a

(15) Philoponus, I., Commentary on Aristotle's Physics, pp. 639.3-642.9 (Vitelli), apud. Cohen, M.R. and Drabkin, I.E., A Source Book in Greek Science, pp. 221-222.

adiante com um movimento mais rápido do que o movimento natural da flecha para o seu lugar natural.

"Esta explicação (argumenta Philoponus) embora aparentemente mais plausível, realmente não é diferente da primeira explicação pela *antiperistasis*, e a seguinte refutação aplicar-se-á também à explicação pela *antiperistasis*"⁽¹⁶⁾.

Esta refutação de Philoponus está baseada no fato de que se uma flecha lançada pela força move-se, em uma direção contrária à sua direção natural, empurrada pelo ar que ela tem atrás de si. Então "seria possível sem o contato (da pedra com a mão, ou da corda do arco com a flecha) colocar a flecha no topo de uma vara, como ela está sobre uma linha fina, e colocar a pedra em uma situação similar, e então, com inúmeras máquinas, pôr uma grande quantidade de ar em movimento atrás destes corpos. Agora é evidente que quanto maior for a quantidade de ar movido e quanto maior for a força com que ele é movido, mais este ar empurraria a flecha ou pedra, e mais longe ele as atiraria. Mas o fato é que ainda que você coloque a flecha ou pedra sobre uma linha ou ponto completamente destituído de espessura e ponha em movimento todo o ar detrás dos projéteis com toda força possível, o projétil

(16) Philoponus, I., Commentary on Aristotle's Physics, pp. 639.3-642.9 (Vitelli), apud. Cohen, M.R. and Drabkin, I.E., A Source Book ..., p. 222.

não se moveria a uma distância de um único côvado"⁽¹⁷⁾.

Uma vez que Philoponus nega a idéia aristotélica de que o meio produz tanto a força motriz quanto a resistência do movimento violento, fez-se necessário encontrar uma outra explicação para o movimento de projéteis. Philoponus fez isso postulando uma força motriz (ou impressora) incorpórea:

"... é necessário supor que alguma força motriz in corpórea seja cedida pelo propulsor ao projétil, e que o ar, se estiver presente no movimento, ou não contribui de forma alguma ou então muito pouco para este movimento de projétil"⁽¹⁸⁾.

Essa força motriz incorpórea, segundo Philoponus, não é uma coisa de natureza permanente, mas desaparece gradualmente, até mesmo no vácuo. Esta diminuição se dá devido a uma dupla resistência: uma primeira devido ao meio, e outra devido à tendência do corpo pesado para o seu lugar natural.

Com isso Philoponus permanece sustentando uma postura anti-inercial já que nega a possibilidade do movimento de um corpo no vácuo continuar para sempre.

Philoponus também desenvolve uma lei de movimento de acordo com a qual a velocidade do movimento natural (tal

(17) Philoponus, I., Commentary on Aristotle's Physics, apud Cohen, M.R., and Drabkin, I.E., A Source Book..., p. 223.

(18) Philoponus, I., Commentary on Aristotle's Physics, apud Cohen, M.R., and Drabkin, I.E., A Source Book..., p. 217.

como o de queda livre) e do movimento violento é proporcional à força motriz, enquanto que a resistência do meio apenas reduz tal velocidade. Assim a única função do meio é retardar o movimento. Numa linguagem moderna poderíamos representar a "lei do movimento" de Philoponus como:

$$v \propto (F - R)$$

onde:

v é a velocidade

F é a força motriz

R é a resistência do meio

É fácil perceber que a teoria de Philoponus torna plausível o movimento no vácuo, no qual os corpos se movimentariam sem resistência e com velocidade finita, proporcional à força motriz⁽¹⁹⁾. Este movimento, como vimos, é considerado inconcebível dentro da dinâmica aristotélica.

(19) Segundo Crombie, Philoponus cita o movimento das esferas celestes como um exemplo de movimento sem resistência, e com velocidade finita. Isto também é feito pelo árabe espanhol Avempace (1106-1138) que (segundo Averrões (1126-1198) em seu comentário à Physica de Aristóteles) diz: "se nós supusermos que o movimento das pedras só ocorre (em um tempo finito) porque elas são movidas em um meio (...) então os corpos celestes seriam movidos instantaneamente, já que não há um meio resistindo a eles". Averrões, apud Grant, E. (ed.), A Source Book in Medieval Science, (Cambridge: Harvard University Press, 1974), p. 256.

A teoria de Philoponus é posteriormente desenvolvida pelo pensador árabe Avicena (980-1037). Sua lei de movimento e a tese da possibilidade do movimento no vácuo são advogadas, no século XII, pelo árabe espanhol Avempace (1106-1138).

"Philoponus e Avempace seguiram Platão ao procurarem as naturezas e causas reais dos fenômenos não na experiência imediata, mas em fatores abstraídos pela razão a partir da experiência"⁽²⁰⁾.

Os principais pontos em questão entre a teoria do movimento de Aristóteles e a teoria neo-platônica defendida por Philoponus e Avempace, como nota Crombie, foram levantados por Averrões (1126-1198) ao determinar as principais linhas do debate presente no início do século XIII na Europa Ocidental. Averrões se opõe à teoria do movimento de Avempace e a toda a concepção de "natureza" na qual ela está baseada.

Contudo, a visão de Avempace foi defendida por vários escolásticos, sendo Santo Tomás de Aquino (1225-1274) o

(20) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 68.

Uma vez que a concepção de movimento no vácuo tornou-se plausível, "começou-se a pensar em termos ideais, mais em movimentos hipoteticamente desobstruídos (embora não observáveis) do que em movimentos diretamente observáveis, porém complicados, retardados e obstruídos pelo meio" Uritan, R.A., Medieval Science, the Copernican revolution and physics teaching, American Journal of Physics, 42(10): 812, oct., 1974.

primeiro e mais importante⁽²¹⁾ seguido de Roger Bacon e Peter Olivi (a esse respeito ver: Crombie, A.C., Augustine to Galileo II, p. 71-72).

A partir do final do século XIII e do começo do século XIV, vários comentaristas unem-se a Aristóteles e Averrões contra T. de Aquino e Avempace; iniciando-se aquele que foi um dos debates mais importantes neste período, a saber: a discussão em torno do movimento.

"A teoria de Philoponus (afirma Crombie) foi apontada por alguns eruditos, notadamente por Duhem, como a origem de certas concepções medievais que foram admitidas, por sua vez, como tendo dado origem à moderna concepção de inércia, que foi a base da revolução na dinâmica do século XVII"⁽²²⁾.

(21) É importante notar que Tomas de Aquino aceitava os princípios essenciais da física de Aristóteles e sua cosmologia. O principal ponto de oposição de Aquino e Aristóteles é o determinismo absoluto deste último.

(22) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 66. Para uma discussão detalhada da influência da teoria de Philoponus e Avempace no futuro desenvolvimento da visão inercial de Galileo, que se opõe à visão anti-inercial de Aristóteles; e de algumas das idéias deste item, particularmente aquelas presentes do debate Aristóteles e Averrões contra T. de Aquino e Avempace ver: além dos textos de Crombie e Uritan já citados: Alain Franklin, The Principle of Inertia in the Middle Age, (Colorado: Colorado Associated University Press, 1976); Ernest, A. Moody, Galileo and Avempace, Journal of the History of Ideas, 12 (1951), pp. 163-193; e Edward Grant, Motion in the Void and The Principle of Inertia in the Middle Ages, Isis, 55 (1964) pp. 265-292.

Porém existe uma certa controversia sobre a influência da "teoria da força motriz incorpórea" de Philoponus sobre a "teoria da força motriz" que tornou-se amplamente aceita no século XIV e que foi posteriormente elaborada por Jean Buridan (1300?-1358) sob o nome de "teoria do *impetus*". Isso por que os escritos de Philoponus sobre este tema só se tornaram conhecidos em 1535, numa versão grega, e em 1542, em latim - embora em 1217, Michel Scot tenha apresentado no seu *Liber Astronomiae* uma tradução abreviada da teoria de Avicena, que contém sua teoria da "força motriz".

"Diante da evidência disponível, Dr Maier conclui (afirma Crombie) que a 'teoria da força motriz' e a do *impetus* que a sucedeu no século XIV, foram desenvolvidas independentemente pelos escolásticos, principalmente através de suas discussões da causalidade instrumental na reprodução e nos sacramentos" (23).

Seja como for as teses de Philoponus sobre a possibilidade do vácuo, sobre o movimento no vácuo, e sua oposição à máxima aristotélica de que o ar é causa e resistência

(23) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 74.

Esta visão é compartilhada por M. Clavelin, que afirma: "É quase certo que Buridan não estava familiarizado com os argumentos de mentos de Philoponus. Contudo no começo do século XIV... Francisco de Marchie põe em evidência uma tese que embora não se opusesse, completamente, à de Aristóteles, era um pressagio da de Buridan". Clavelin, M., The Natural Philosophy of Galileo, trans. A.J. Pomerans (Cambridge: The M.T.I. Press, 1974), p. 91_n.

do movimento de projéteis eram bastante conhecidas no fim da Idade Média.

A "teoria da força motriz incorpórea", que possibilita o movimento no vácuo, é revivida, no início de 1320, por Francisco de Marchia, um filósofo natural escolástico. Este trabalho pode, segundo Allan Franklin, ter influenciado Buridan no desenvolvimento da sua teoria do *impetus*. Não encontramos, no entanto, nenhuma referência de Buridan as teses de Marchia.

Buridan rejeita a explicação aristotélica para o movimento de projéteis, afirmando que esta questão não é bem resolvida nem na *Physica*, nem no *De Caelo*, pois em ambos Aristóteles menciona duas opiniões. A primeira delas, conhecida como antiperistasis, é considerada por Buridan sem valor por muitas experiências (*experientie*), tais como a terceira experiência citada por Buridan no livro VIII do seu comentário à *Physica* de Aristóteles, é ela: "um navio arrastado rapidamente sobre um rio, mesmo contra a corrente deste, depois que o impulso cessa, não pode ser parado rapidamente, mas continua a mover-se por um longo tempo. E ainda um marinheiro sobre o convés não sente qualquer ar atrás dele empurrando-o. Ele sente somente o ar da frente resistindo (a ele). Além disso, supondo que o navio mencionado estivesse carregado com grãos ou madeira e um homem estivesse situado atrás da carga, então, se o ar tem um tal *impetus*, capaz de empurrar fortemente o navio adiante, o homem seria empurrado muito violentamente entre aquela carga e o ar atrás dela. A experiência mostra que isso é falso". (...)

"Outra opinião (continua Buridan) que Aristóteles parece aprovar, é que o projetor move o ar adjacente ao projétil (simultaneamente) com o projétil e que o ar movido rapidamente tem o poder de mover o projétil. Ele não entende por isto que o mesmo ar é movido do lugar da projeção até o lugar onde o projétil para, mas antes que o ar ligado ao projetor é movido pelo projetor e que este ar tendo sido movido move outra parte de ar próxima a ela, e aquela (parte) move outra (isto é, a próxima) até uma certa distância. Portanto o primeiro ar move o projétil para dentro do segundo ar, e o segundo (ar move-o) para o terceiro ar, e assim sucessivamente. Aristóteles diz, portanto, que não há um motor mas muitos. Portanto ele conclui, também, que o movimento não é contínuo mas consiste de sucessivas ou contíguas entidades"⁽²⁴⁾.

Buridan considera este método e opinião tão impossível quanto o método da *antiperistasis*. Isto porque este método também não explica as experiências que Buridan apresenta como falseadoras do método da *antiperistasis*.

"Assim (conclui Buridan) nós podemos e devemos dizer que em uma pedra ou em outro projétil há algo impresso que é a força motriz (*virtus motiva*) daquele projétil. E isto é evidentemente melhor do que recorrer à afirmação que o

(24) Buridan, J., Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis, livro VIII, questão 12, parágrafo 2 e 3, trad. M. Clagett, The Science of Mechanics in the Middle Ages (Madison, Wis.: University of Wisconsin Press, 1959), p. 534, apud Grant, E., Ed. A Source Book in Medieval Science (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974), p. 276.

ar continua a mover aquele projétil. Pois o ar parece mais resistir. Portanto, parece-me que deve ser dito que o motor, ao mover um corpo móvel, imprime um certo impeto (*impetus*) ou uma certa força motriz (*vis motiva*) ao corpo móvel (no qual age o *impetus*) na direção para a qual o motor estava movendo o corpo móvel, para cima ou para baixo ou lateralmente ou circularmente. Quanto mais rapidamente o motor mover aquele corpo móvel, mais forte será o *impetus* que ele lhe imprimirá. É por esse *impetus* que a pedra é movida depois que o atirador para de movê-la. Porém esse *impetus* é continuamente reduzido pela resistência do ar e pela gravidade da pedra, que a inclina em uma direção contrária àquela à qual o *impetus* estava naturalmente predisposto a movê-la. Assim o movimento da pedra torna-se continuamente mais lento, e finalmente esse *impetus* diminui tanto que a gravidade da pedra o vence e move a pedra para baixo, para seu lugar natural" (25) . Não fosse a ação da resistência do meio e da gravidade o *impetus* de Buridan seria "uma coisa de natureza permanente (*res nature permanentis*) distinta do movimento local no qual o projetil é movido" (26) .

(25) Buridan, J., Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis, livro VIII, questão 12, parágrafo 4, trad. M. Clagett, apud Grant, E., ed., A Source Book in Medieval Science, p. 276.

(26) Buridan, J., Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis, livro VIII, questão 12, parágrafo 9, trad. M. Clagett, The Science ..., p. 537, apud Grant, E., A Source Book in Medieval ..., p. 278.

Buridan caracteriza o *impetus* como sendo diretamente proporcional à velocidade inicial do projétil e a quantidade de matéria contida nele, o que aproxima sua noção do conceito newtoniano de quantidade de movimento.

A teoria do *impetus* terá um papel fundamental na futura revolução cosmológica dos séculos XVI e XVII, porque foi uma tentativa de unir os movimentos terrestres e celestes sob o mesmo conjunto de leis. Buridan usa o *impetus* para explicar tanto os movimentos terrestres como os celestes:

"Assim se poderia imaginar que é desnecessário postular inteligências como motores dos corpos celestes uma vez que as Sagradas Escrituras não nos informam que inteligências devem ser postuladas. Pois se poderia dizer que quando Deus criou as esferas celestes, Ele começou a mover cada uma delas como quis, e elas são movidas até agora pelo *impetus* que Ele lhes deu pois, não havendo resistência, o *impetus* nem corrompe nem diminui" (27).

(27) Buridan, J., Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis, livro II, questão 12, parágrafo 7, trad. M. Clagett, apud Grant, E., ed. A Source Book in Medieval ..., p. 282.

O impetus celeste é, também, discutido por Buridan no parágrafo 6, questão 12, do livro VIII. Clagett ao comentar o impetus celeste afirma que: "A característica de permanência que Buridan determina para o seu impetus torna plausível para ele explicar o movimento eterno do céu pela imposição do impetus por Deus no momento da criação do mundo ... O uso do impetus para explicar o movimento contínuo do céu é o mais próximo que Buridan chegou da idéia inercial da mecânica de Newton. Dificilmente se pode duvidar que o impetus é análogo à inércia posterior, apesar das diferentes ontológicas" (Clagett, M., The Science of Mechanics ..., p. 524-525).

É bem verdade que não se pode afirmar, unicamente a partir da definição de Buridan do *impetus* celeste, que ele próprio pretendesse formular uma única mecânica para todo o Universo. Porém o uso do *impetus* para explicar tanto o movimento celeste como o terrestre, representa, certamente, um primeiro passo para o rompimento da dicotomia aristotélica entre dinâmica celeste e mecânica terrestre.

Além disso, embora a ênfase dos argumentos escolásticos em favor da possibilidade do movimento diário da Terra fosse sobre a relatividade do movimento, é a teoria do *impetus* que possibilita, a Oresme, por exemplo, supor que a Terra em movimento seja capaz de dotar de uma propulsão interna os corpos que a abandonam, na medida em que eles fazem parte do sistema mecânico da rotação da Terra. Esta propulsão torna possível que tais corpos sigam o movimento da Terra⁽²⁸⁾.

(28) Devemos notar que Buridan usa a teoria do *impetus* contra a possibilidade da rotação diária da Terra. Ao discutir o problema de como uma flecha lançada verticalmente para cima cai no mesmo lugar, da Terra, a partir do qual ela foi lançada, Buridan afirma: "os defensores (da possibilidade da rotação da Terra) afirmam que isto acontece porque o ar, movendo-se com a Terra, carrega a flecha, embora ela pareça-nos mover-se simplesmente em linha reta, pois ela é carregada adiante conosco. Portanto nós não percebemos aquele movimento pelo qual ela é carregada com o ar. Mas este subterfúgio não é suficiente, pois o violento *impetus* da flecha ao subir resistiria ao movimento lateral do ar, de tal forma que ela não se moveria tanto quanto o ar" (Buridan, J., Questiones super libris quattuor De Caelo et Mundo, livro II, questão 22, parágrafo 9, trad. M. Clagett, The Science of Mechanics ..., p. 596, apud Grant, E., ed. A Source Book Medieval ..., p. 502.

2.2.3- Discussão em torno da possibilidade do movimento da Terra

Os argumentos medievais contra o movimento da Terra são os mesmos usados pelos antigos ptolomaicos, e os mesmos que serão usados contra Copérnico, no século XVI. A eles Nicolas Oresme (1323?-1382), discípulo de Buridan e membro da importante escola nominalista de Paris, responde: é possível sustentar a opinião de que "a Terra está se movendo com movimento diário e o Céu não. E primeiro, eu afirmarei que é impossível mostrar o contrário por qualquer observação (*expérience*); segundo, a partir da razão (*par raison*). e terceiro, eu darei razões em favor desta opinião"⁽²⁹⁾.

Uma das principais objeções citadas por Oresme contra a rotação diária da Terra está baseada na observação de que uma flecha (ou pedra) lançada verticalmente para cima sempre volta ao ponto do qual ela foi lançada. Porém, se a Ter-

(29) Oresme, N., Le Livre du ciel et du monde, (1377) cap. 25, Livro II, citado a partir da reprodução feita por Pierre Duhem no seu Le système du monde (Paris: Herman, 1958), vol. IX, cap. XIX, p. 330. Segundo nota Roberto Martins "este trabalho de Oresme, cujo manuscrito data de 1377, foi estudado e reproduzido parcialmente por Duhem, em 1909 (no seu Un précurseur français de Copernic: Nicole Oresme (1377), Rev. Gén. Sci., 20: 207-28), 1909), (Martins, R., Galileo e o Princípio da Relatividade, Cadernos de História e Filosofia da Ciência, (9), 1986).

O Livre du ciel et du monde foi traduzido por Albert D. Menut, e editado por Albert D. Menut e Alexander J. Denomy, C.S.B., (Madison, Wis: University of Wisconsin Press, 1968).

ra girasse, deixaria tal flecha atrás de si e portanto ela não retornaria ao ponto de partida como é observado.

Oresme se opõe a este argumento de forma bastante clara no capítulo 25 do livro II de *Le Livre du ciel et du monde*.

A flecha (ou pedra) "é movida muito rapidamente para leste com o ar através do qual ela passa e com toda a massa da parte inferior do Universo, indicada anteriormente, que é movida com o movimento diário; e assim a flecha retorna ao lugar a partir do qual ela foi lançada..." (A trajetória real da flecha) "será uma composição ou uma mistura de movimentos (*composition ou mixtion de mouvemens*) retilíneo e circular"⁽³⁰⁾.

(30) A este respeito ver: Oresme, N., *Le Livre du ciel ...*, (1377), livro II, cap. 25, reprodução de P. Duhem no seu *Le système du monde*, vol. IX, pp. 329-333; ou trad. A.D. Menut, pp. 519-539, apud Grant, E., ed. *A Source Book in Medieval ...*, pp. 503-510.

Oresme divide o Universo em duas partes: "uma é o Céu com a esfera do fogo e a região superior do ar. Toda esta parte, de acordo com Aristóteles, no livro I do *Meteors* (provavelmente *Meteorologica*, I, 3, 340^b, 10-12) move-se em um círculo ou gira a cada dia. A outra parte do Universo está toda em repouso — que é a metade inferior da região do ar, a água, a terra e os corpos misturados — e de acordo com Aristóteles, toda esta parte está imóvel e não tem nenhum movimento diário" (Oresme, N., *Le Livre du ciel ...*, apud Grant, E., *A Source Book ...*, p. 504). Embora Oresme aceite a divisão que imputa a Aristóteles, ele nega que se possa sentir ou perceber qual das duas partes do Universo está em repouso e qual está em movimento. Grant, analisando esta passagem particular do *Livre du ...* afirma que: "há uma controvérsia sobre se Aristóteles, na passagem (do *Meteorologica* citada por Oresme), pretendia realmente dividir o Universo tal qual Oresme apresenta". (Grant, E., *A Source Book ...*, p. 504_n).

Marshall Clagett, comentando as análises de Buridan e Oresme com respeito à compatibilidade da rotação diurna da Terra com os fenômenos astronômicos e a física terrestre, afirma que "talvez Oresme, mais tarde, tenha compreendido que não é o ar que causa o movimento lateral da flecha mas o fato de que ela é parte do sistema mecânico da rotação da Terra, tal qual um homem que move sua mão verticalmente para cima e para baixo em um mastro é parte do sistema mecânico do navio"⁽³¹⁾.

Quanto ao fato do movimento composto da flecha não ser observado, Oresme responde, tendo em mente suas idéias sobre a relatividade óptica do movimento:

"Se uma pessoa estivesse sobre um navio movendo-se para leste muito rapidamente sem estar ciente do movimento, e se ele levasse sua mão para baixo descrevendo uma linha reta contra o mastro do navio, parecer-lhe-ia (*il lui sembleroit*) para ele que sua mão está se movendo somente com movimento retilíneo. De acordo com esta opinião parece-nos do mesmo modo que a flecha desce e sobe em linha reta... Em defesa desta (opinião, considerem o seguinte): se um homem naquele navio está indo para oeste menos rapidamente que o navio está indo para leste, parecer-lhe-á que está se aproximando de oeste, quando realmente estaria movendo-se para leste. Do mesmo modo, no caso apresentado acima, todo movimento pareceria ser como se a Terra estivesse em repouso... Eu concluo então que não se pode por toda e qualquer experiência demonstrar que o Céu e não a Terra é movida com o movimento diá-

(31) Clagett, M., The Science of Mechanics ..., p. 599, apud., Grant, E., ed., A Source Book in Medieval Science, p. 503.

rio"(32).

Além dos argumentos observacionais contra o movimento da Terra existem os desenvolvidos a partir da razão que derivam principalmente da máxima aristotélica segundo a qual cada um dos corpos elementares só pode ter um único movimento. No caso das coisas terrestres, este é "naturalmente" retilíneo e para baixo, tal como é observado. Conseqüentemente, o movimento de rotação axial da Terra teria que ser não-natural e, portanto, a Terra, a fim de manter este movimento contrário à sua natureza, necessitaria, continuamente, de um agente externo (motor) que permanecesse em contato direto com ela. Mas, segundo Aristóteles, é impossível para uma magnitude finita ter uma força infinita, bem como é impossível uma coisa movida por uma magnitude finita durar um tempo infini-

(32) Oresme, N., Le Livre du ciel et du monde, (1377), livro II, cap. 25, apud reprodução feita por Duhem, P., Le Systême du monde, vol. IX, p. 332, ou trad. A.D. Menut no: Menut, A. e Denomy, A.J., ed., Le Livre du ciel ..., citado por E. Grant no A Source Book in Medieval Science, pp. 505-506.

O argumento de Oresme está baseado na sua suposição de que "o movimento local não pode ser percebido sensivelmente a não ser tanto quanto se percebe que um corpo esteja (em movimento) olhando-se para outro corpo" (Oresme, N., Le Livre du ciel ..., apud Duhem, P., Le Systême du monde, vol. IX, p. 331). Oresme, ao desenvolver este argumento, cita o livro IV do Perspective de Witelo (?1250-1275) segundo o qual só os movimentos relativos podem ser percebidos (ver: Vitellonis Thuringopolomi Opticae libri decem, livro IV, parág. 110). Segundo Grant, Witelo teria desenvolvido esta visão a partir da Optica de Alhazen (?965-1039) (livro II, parág. 49).

to (a este respeito ver: Arist., *Physica*, 267^b, 20-25). Portanto, cessada a ação do motor, cessaria o movimento da Terra, logo seu movimento não poderia ser eterno, dessa forma a ordem do mundo não poderia ser eterna como é (outros detalhes ver pp. 24-25).

Em oposição a esta tese Oresme afirma que: "cada corpo simples ou elemento do Universo, exceto talvez, o Céu Supremo, move-se em seu lugar próprio (lugar natural) com movimento circular. Se qualquer parte de tal corpo é retirada do seu lugar e para fora do corpo principal, ela para lá retorna tão diretamente quanto possa, uma vez removido o impedimento" ...

E Oresme conclui: "eu digo que este movimento (circular) é natural para a Terra, como um todo e em seu lugar; contudo, suas partes têm um movimento natural diferente, retilíneo e para baixo, quando estão fora de seu lugar natural"⁽³³⁾.

Assim, todas as partículas terrestres compartilham, com a Terra, de seu movimento natural, movendo-se "naturalmente" segundo uma trajetória circular, embora isso não seja

(33) Oresme, N., Le Livre du ciel et du monde, livro II, cap. 25, apud reprodução feita por Duhem, P., Le Systême du monde, vol. IX, p. 335.

Devemos notar que Oresme quando supõe que o movimento circular é natural para as coisas terrestres, ele se opõe à dicotomia aristotélica, de acordo com a qual o movimento circular é característico dos objetos celestes, enquanto que o movimento retilíneo é próprio dos objetos terrestres.

observado, já que compartilhamos, também, desse movimento. E, sendo natural, o movimento — circular — da Terra pode ser eterno.

A discussão dos eruditos medievais em torno da possibilidade da rotação diurna da Terra tinha um cunho muito mais lógico do que astronômico. Eles estavam muito mais preocupados em investigar as demonstrações aristotélicas do que concluir a partir de suas críticas a favor da rotação axial da Terra.

Oresme, por exemplo, depois de demonstrar como não se pode provar conclusivamente pela razão (*par raison*), nem por qualquer experiência (*quelconque expérience*) que o Céu se move, afirma contudo que: "todos sustentam e eu próprio penso que o Céu se move e não a Terra", embora isso não seja "claramente evidente". Porém a crença de que a Terra se move e não o Céu embora plausível "à primeira vista, parece tanto contrária à razão natural como a todos ou muitos artigos de nossa fé (*contre raison naturelle comme sont les articles de notre Foy ou tous, ou plusieurs*)" (34).

Também Buridan, depois de formular diversos argumentos em favor da possibilidade da rotação diurna da Terra, acaba por negá-la — é bem verdade que por razões inteiramente diferentes daquelas apontadas por seu discípulo Oresme (ver nota 28 deste capítulo).

(34) Oresme, N., Le Livre du ciel et du monde, livro II, cap. 25, apud reprodução feita por Duhem, P., Le Systême du monde, vol. IX, p. 341.

Apesar disso, os argumentos de Buridan e de Oresme sobre a relatividade do movimento utilizados a favor da possibilidade do movimento da Terra, são bastante semelhantes àqueles que serão utilizados, em 1530, por Copérnico. Isto pode ser evidenciado nos seguintes textos de Buridan e Copérnico respectivamente:

"Se alguém está se movendo em um navio e imagina que está em repouso, então, se observar um outro navio, que na realidade está em repouso, parecer-lhe-á que o outro navio se move (...). E assim nós também pressupomos que a esfera do Sol está sempre em repouso e a Terra carregando-nos estaria girando. Como, no entanto, nós imaginamos que estamos em repouso, tal como o homem localizado no navio que está se movendo rapidamente não percebe seu próprio movimento nem o movimento do navio, então é claro que o Sol apareceria para nós levantar-se e por-se tal como o faz quando ele se move e nós permanecêssemos em repouso"⁽³⁵⁾.

Copérnico no seu *De Revolutionibus* faz uma analogia muito parecida:

"E porque não havemos de admitir que a rotação diurna é aparente no Céu mas real na Terra? E é assim que as coisas se passam na realidade (...). Na verdade, quando um

(35) Buridan, J., Quaestiones super libris quattuor De caelo et mundo, livro II, questão 22, parágrafo 2; Moody, E.A., ed. (Cambridge, Mass.: Mediaeval Academy of America, 1942), trad. Clagett, M., The Science of Mechanics in the Middle Ages, pp. 594-595, apud, Grant, E., A Source Book in Medieval Science, p. 501.

navio navega com bonança, tudo o que está fora dele parece aos navegantes mover-se pelo reflexo daquele movimento e, por outro lado, pensam que estão imóveis com todos os objetos junto deles".

"Naturalmente, a mesma coisa acontece com o movimento da Terra, de maneira que todo o Universo parece rodar"⁽³⁶⁾.

2.2.4- Cosmologia Medieval

Outras duas discussões faziam parte do universo escolástico, e agiram como pano de fundo para a Revolução Copernicana: o problema de grandezas infinitas e o da existência de vários mundos.

Estas duas questões estão intimamente ligadas uma vez que da tese aristotélica sobre a unicidade da Terra e unicidade desse nosso Mundo decorre a negação da possibilidade de de um espaço infinito além da esfera celeste.

O argumento de Aristóteles é o seguinte: dado que nem há agora, nem nunca houve, nem pode vir a haver, qualquer corpo fora do Céu. Então nem há agora, nem nunca houve, nem poderá ser formado mais de um Céu, mas este nosso Céu é um,

(36) Copérnico, N., De Revolutionibus Orbium Coelestium, cap. VIII, livro primeiro.

único e completo⁽³⁷⁾.

"É portanto (conclui Aristóteles) evidente que também não há lugar, nem vazio, nem tempo fora do Céu. Pois em todo lugar pode estar presente um corpo, e o vazio é aquilo em que a presença de um corpo, embora não real, é possível; e o tempo é o número do movimento. Mas na ausência de um corpo natural não há movimento e fora do Céu, como nós mostramos nem existe nem pode existir um corpo. É claro, então, que nem há lugar, nem vazio, nem tempo fora do Céu"⁽³⁸⁾.

(37) A tese aristotélica sobre a unicidade do nosso Mundo e da Terra está baseada na premissa de que, estes vários Mundos, se existissem, "seriam similares, em natureza, ao nosso, deviam todos ser compostos dos mesmos corpos que o nosso. Além disso cada um dos corpos, fogo, terra e seus intermediários deviam ter o mesmo poder como em nosso Mundo... Claramente então, um destes corpos se moverá naturalmente para longe do centro e outro para o centro, já que o fogo deve ser idêntico ao fogo, terra com terra, e assim por diante, ... Então, a partícula de terra em outro mundo move-se naturalmente também para o nosso centro e o fogo para a nostra circunferência. Isto, contudo é impossível, já que, se fosse verdade, a terra devia, em seu próprio mundo, mover-se para cima, e o fogo para o centro; do mesmo modo a terra do nosso Mundo devia mover-se naturalmente para longe do centro, quando ela move-se para o centro de outro Universo. Isto resulta a suposta justaposição dos Mundos. Pois, ou nós devemos nos negar a admitir a natureza idêntica dos corpos simples em vários Universos, ou admitindo isto, devemos fazer o centro e a extremidade como sugerido, e sendo assim, segue que não pode haver mais do que um Mundo" (Arist., De caelo, I, cap. 8, 276^a, 25-30 e 276^b, 1-20).

(38) Aristóteles, De caelo, I, cap. 9, 279^a, 10-20.

A crítica à negação aristotélica da possibilidade de mundos similares à Terra e à negação da existência de um espaço infinito além da esfera celeste já estava presente na Idade Média, e uma das discussões mais interessantes e convincentes é feita por Oresme em seu *le Livre du ciel et du monde*.

Oresme, ao criticar à tese aristotélica sobre a unicidade da Terra, questiona a teoria aristotélica do movimento, de acordo com a qual a Terra tende para o centro do Universo, onde é o seu lugar natural.

Segundo a teoria oresmiana o lugar natural de um dado corpo não é determinado exclusivamente pela natureza da substância da qual o particular corpo é constituído, mas também pela posição relativa deste corpo com respeito a outros corpos.

Assim: "se há vários mundos, a terra de um deles se moveria naturalmente para o meio deste outro mundo"⁽³⁹⁾.

Isto não quer dizer que neste nosso mundo uma parte da Terra tenda para um centro e outra parte para outro centro, mas sim que: "todos os corpos pesados neste mundo tendem a unir-se a uma massa tal que o centro do peso desta massa está junto ao centro deste mundo, e todas as partes constituirão um corpo, numericamente falando. Portanto, elas tem

(39) Oresme, N., Questiones super De Caelo, livro I, questão 18, (edição de E.A. Moody (Cambridge, Mass.: Mediaeval Academy of America, 1942), p. 83), apud Grant, E., ed. A Source Book in Medieval Science, p. 552, nota 18.

um único lugar natural. E se alguma parte da terra de outro mundo estiver neste (nosso) mundo, ela tenderia para o centro deste (nosso) mundo, unificando-se com a massa deste mundo, e vice-versa".

"Mas não segue daqui que as partes de terra ou corpos pesados de outro mundo, se existir, tendam para o centro deste (nosso) mundo, porque em seus mundos elas formariam uma massa única, possuindo um único lugar, e se arranjariam na ordem em cima e em baixo, como nós indicamos, tal qual a massa dos corpos pesados deste (nosso) mundo. E estes dois corpos ou massas sendo de um mesmo tipo, seus lugares seriam formalmente idênticos e semelhantes nos dois mundos"⁽⁴⁰⁾. A tendência do movimento natural, para cima ou para baixo, destes corpos, uma vez dentro de um determinado mundo, seria governada pela natureza da substância que os compõe.

Dessa forma, mesmo havendo 'várias Terras' (ou mundos similares à Terra) elas não tenderiam a unir-se numa só, no centro do Universo, como previa Aristóteles.

Quanto à discussão medieval em torno da existência de um espaço vazio infinito além da esfera celeste ela está presente, entre outros, nos trabalhos de Richard de Middleton (século XIV), Thomas Bradwardine (1290-1349), Johannes de Ripa (século XIV), Willian Ockhan (1280-1349), Oresme, Nicolau de

(40) Oresme, N., Le Livre du ciel ..., livro I, cap. 24, reprodução Duhem, P., Le systême ..., vol. IX, p. 405-406 ou trad. A. Menut, editado por A.D. Menut e A. Denomy, C.S.B.; apud Grant, E., ed. A Source Book ..., p. 551.

Cusa⁽⁴¹⁾ e nos comentadores jesuítas junto ao colégio de Coimbra (segunda metade do século XVI).

Segundo Oresme "de acordo com a fé não há espaço fora do Céu, mas podemos conceber que fora do Céu pode haver um vácuo porque Deus pode criar um corpo ou um lugar lá. Portanto, se é perguntado o que é que é vácuo fora do Céu, poder-se-ia responder que é nada mas o próprio Deus, o qual é Sua própria imensidade indivisível e Sua própria eternidade

(41) Segundo Koyré, Nicolau de Cusa (1401- ?) foi o primeiro medieval a afirmar a infinitude do Universo, porém, segundo o próprio Koyré, "suas concepções foram desdenhadas por seus contemporâneos, e mesmo por seus sucessores, durante mais de cem anos. Ninguém, nem mesmo Lefèvre d'Étaples, que publicou suas obras, parece ter dado muita atenção a elas". Também Copérnico — que conhecia pelo menos o tratado sobre a quadratura do círculo — parece não ter sido influenciado por ele. De acordo com a ousada concepção cosmológica de Cusa "embora o mundo não seja infinito, não pode porém ser concebido como finito, uma vez que não possui limites entre os quais se confine. A Terra, por conseguinte, que não pode ser o centro, não pode carecer de todo movimento; mas é necessário que se mova de tal modo que pudesse ser movida infinitamente menos. Da mesma forma que a Terra não é o centro do mundo, também a esfera das estrelas fixas não é sua circunferência" (Cusa, Nicolau, De docta ignorantia, livro II, p. 100, apud Koyré, A., From the closed world to the infinite Universe, cap. I, nota 14).

como um todo e todos em um"⁽⁴²⁾.

Copêrnico, por sua vez embora não entrando na polémica sobre a finitude ou infinitude do Universo, afirma que o mais poderoso argumento em favor da idéia de que o mundo é finito é o movimento, porque: "segundo aquele axioma da Física - o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma - o Céu (se infinito) teria que permanecer imóvel"⁽⁴³⁾.

Portanto, a partir do momento em que se defende a imobilidade do Céu, a infinitude deste torna-se possível.

Copêrnico continua seu raciocínio afirmando que: "... eles diziam que fora do Céu não há corpo nem espaço vazio ou lugar - nada, numa palavra - e assim não existe nenhuma parte para onde o Céu possa desviar-se. Neste caso é certamente espantoso que alguma coisa possa ser limitada pelo nada. Mas se o Céu é infinito e apenas finito na sua cavidade interior, talvez se possa demonstrar melhor que nada existe fora do Céu, uma vez que todas as coisas estão dentro dele, seja qual for o espaço que ocupem, mas o Céu permanecerá imóvel"⁽⁴⁴⁾.

(42) Oresme, N., Questiones super De Caelo, apud Grant, E., Medieval and Seventeenth Century Conceptions of an Infinite Void Space Beyond the Cosmo, Isis, 60 (1969) p. 48.

(43) Copêrnico, N., De Revolutionibus Orbium Coelestium cap. VIII, livro primeiro.

(44) Copêrnico, N., idem

Tanto a discussão em torno da existência de mundos plurais como aquela da existência de um espaço vazio infinito além da esfera celeste exerceram um importante papel dentro da revolução científica dos séculos XVI e XVII, uma vez que elas estão ligadas a uma terceira questão que é fundamental, a saber: a lei da inércia, já que o conceito de espaço infinito é essencial quando se pensa num movimento inercial no vácuo.

2.2.5- Conclusão

Vimos que vários aspectos da visão copernicana podem ser encontrados em autores medievais. Porém, não quis com isso dizer que é possível se encontrar no cosmo medieval todos os fragmentos do pensamento de Copérnico, nem que a astronomia europeia do fim da Idade Média tenha vivido um estado de inquietação intelectual que levou a astronomia a um estado de crise. Quero simplesmente salientar que temas controvertidos como a possibilidade do vácuo, o movimento no vácuo, a teoria da "força motriz incorpórea" e a teoria do impetus, a rotação diurna da Terra, a possível existência de outros mundos similares à Terra, e a existência de um espaço infinito além da esfera celeste, já faziam parte do universo das discussões escolásticas. E embora não exista nenhum indício na obra de Copérnico que assegure que ele tenha conhecido, por exemplo, os trabalhos de Buridan e Oresme é certo, como nota Kuhn, que "os críticos escolásticos criaram um estado de opinião no qual temas tais como o movimento terrestre haviam se con-

vertido em tema de discussões em todas as universidades"⁽⁴⁵⁾.

Apesar disso creio que Kuhn tem razão ao afirmar que a astronomia planetária tardou muito a ser desenvolvida, principalmente se comparada a outros campos de conhecimento como a lógica, a filosofia e a cosmologia. "A metafísica do século XIII rivaliza em profundidade com a de Aristóteles. A física e a cosmologia do século XIV superam as aristotélicas em profundidade e coerência lógica. Contudo, até meados do século XV, os europeus não produziram uma tradição astronômica autônoma capaz de rivalizar com a obra de Ptolomeu"⁽⁴⁶⁾.

Isto se deveu, a meu ver, ao fato de que a astronomia ptolomaica tardou muito a ser assimilada, em parte porque a maioria dos astrônomos medievais demoraram muito a começar a trabalhar diretamente a partir dos originais gregos e em parte devido à dificuldade intrínseca da astronomia matemática. Este último ponto foi minimizado a partir do século XVI quando traduções de obras de grandes matemáticos gregos, tais como Arquimedes, Apolonios, Papos e Heron, foram editadas e largamente estudadas.

(45) Kuhn, T., The Copernican Revolution, cap. IV, p. 117.

(46) idem, p. 123.

2.3- A influência neoplatônica na Revolução Copernicana

"... seguindo Platão e os pitagóricos - os maiores matemáticos daquela era divina - (Copérnico) julgou que a fim de determinar a causa dos fenômenos cumpria atribuir movimentos circulares à Terra esférica"

Joachim Rheticus^{*}

A segunda questão por nós introduzida no início desta discussão sobre a revolução copernicana diz respeito à motivação de Copérnico. Várias foram as características deste período particular da Idade Média que influenciaram Copérnico a introduzir uma inovação na astronomia. Essas são de dois tipos: características internas ao campo da astronomia e características externas, que dizem respeito ao clima intelectual da Europa do século XVI e à retomada do pensamento platônico-pitagórico.

Segundo Kuhn, a teoria astronômica herdada pelos medievais se apresentava suficientemente emaranhada e difusa, devido às contínuas introduções de excêntricos e equantes, ainda nos tempos de Ptolomeu, a fim de dar conta dos fenômenos e salvar as aparências. Além disso, o sistema ptolomaico apresentava algumas pequenas inexatidões que impediam

^{*} Rheticus, J., Narratio prima, apendice à edição da Sociedade Copernicana de Thorn ao De Revolutionibus orbium coelestium, (Thorn, 1883), p. 468, apud Koyré, A., From the Closed World to the Infinite Universe, (Baltimore, John Hopkins Press, 1957), cap. II, p.

a elaboração de um calendário preciso. Estas – a confusão e a imprecisão constantes – constituíram, ao ver de Kuhn, as principais fontes da revolução copernicana, gerando um estado de crise.

"Pela primeira vez (afirma Kuhn) um astrônomo tecnicamente competente, (Copérnico), havia se oposto à tradição científica consagrada por razões intrínsecas a seu campo de estudo, e este reconhecimento profissional de um erro técnico inaugurava a revolução copernicana. Essa necessidade sentida se encontrava na raiz do descobrimento de Copérnico, mas o sentimento de necessidade era de um tipo completamente novo"⁽⁴⁷⁾.

É inegável que Copérnico se mostrava inquieto diante dessa situação, o que pode ser evidenciado no prefácio aos Livros sobre as Revoluções dos Orbes Celestes dedicado a Sua Santidade Paulo III, onde ele afirma:

"Não quero que Vossa Santidade ignore que nenhum outro motivo me levou a pensar num método diferente de calcular os movimentos das esferas do Universo senão o fato de ter verificado que os matemáticos não estão de acordo entre si na investigação de tais movimentos. É que, em primeiro lugar, eles se encontram de tal maneira inseguros quanto ao movimento do Sol e da Lua que nem a duração regular do ano corrente são capazes de explicar e formular. Em segundo lugar, ao determinarem os movimentos das esferas do Universo e dos cinco planetas não usam os mesmos princípios e premissas que nas

(47) Kuhn, T., The Copernican Revolution, cap. V, p. 138.

demonstrações dos movimentos e revoluções aparentes. Pois en quanto alguns empregam somente círculos concêntricos, outros utilizam-se de círculos excêntricos e de epiciclos, porém eles não atingem completamente seus objetivos. Pois embora aqueles que se baseiam nos círculos concêntricos demonstrem que alguns movimentos não-uniformes poderiam ser, a partir de les, estabelecidos, eles não foram capazes de obter, por este meio, qualquer resultado, indiscutível, que estivesse em concordância absoluta com os fenômenos. Por outro lado, aqueles que imaginaram os excêntricos, embora pareçam, em grande parte, ter resolvido o problema dos movimentos aparentes com cálculos apropriados, eles introduziram, no entanto, muitas idéias que parecem contradizer os princípios fundamentais a cerca da uniformidade do movimento" (48).

Também é inegável que não existiam técnicas adequadas e suficientes para a elaboração de um calendário preciso.

Alexandre Koyré analisando os possíveis motivos que teriam guiado o pensamento de Copérnico, afirma que: "é certo que, de um lado, houve um motivo físico. A impossibilidade de explicação física, mecânica da astronomia ptolomaica, aquele famoso equante que introduzira nos Céus um movimento não uniforme, parecia-lhe verdadeiramente inadmissível" (49).

É certo que esta impossibilidade de uma explicação

(48) Copérnico, N., Prefácio aos Livros De Revolutionibus orbium coelestium,

(49) Koyré, A., Les étapes de la cosmologie scientifique, 1948, Études d'histoire de la pensée ..., p. 94.

demonstrações dos movimentos e revoluções aparentes. Pois en quanto alguns empregam somente círculos concêntricos, outros utilizam-se de círculos excêntricos e de epiciclos, porém eles não atingem completamente seus objetivos. Pois embora aqueles que se baseiam nos círculos concêntricos demonstrem que alguns movimentos não-uniformes poderiam ser, a partir de les, estabelecidos, eles não foram capazes de obter, por este meio, qualquer resultado, indiscutível, que estivesse em concordância absoluta com os fenômenos. Por outro lado, aqueles que imaginaram os excêntricos, embora pareçam, em grande parte, ter resolvido o problema dos movimentos aparentes com cálculos apropriados, eles introduziram, no entanto, muitas idéias que parecem contradizer os princípios fundamentais a cerca da uniformidade do movimento" (48).

Também é inegável que não existiam técnicas adequadas e suficientes para a elaboração de um calendário preciso.

Alexandre Koyré analisando os possíveis motivos que teriam guiado o pensamento de Copérnico, afirma que: "é certo que, de um lado, houve um motivo físico. A impossibilidade de explicação física, mecânica da astronomia ptolomaica, aquele famoso equante que introduzira nos Céus um movimento não uniforme, parecia-lhe verdadeiramente inadmissível" (49).

É certo que esta impossibilidade de uma explicação

(48) Copérnico, N., Prefácio aos Livros De Revolutionibus orbium coelestium,

(49) Koyré, A., Les étapes de la cosmologie scientifique, 1948, Études d'histoire de la pensée ..., p. 94.

qüência necessária da observação da precessão" (51).

Em relação aos problemas internos ao campo da astronomia levantados por Kuhn (confusão e imprecisão), tentaremos demonstrar adiante que somente um astrônomo com um sentimento platônico de harmonia e simplicidade poderia rejeitar a teoria ptolomaica, tal qual o fez Copérnico.

Um astrônomo sem o neo-platonismo de Copérnico viveria bem com a idéia da impossibilidade da construção de

(51) Gingerich, Owen, Crisis versus Aesthetic in the Copernican Revolution, in Beer, A. and Strand, K.A. (ed.), Copernicus: Yesterday and Today, Proceeding of the Commemorative Conference Held in Washington in Honour of Nicolaus Copernicus, (Oxford: Pergamon Press, 1975), p. 90.

O fenômeno da precessão, descoberto por Hipparchos (ver nota 21, cap. I) corresponde ao movimento lento de leste para oeste do ponto do equinócio (isto é, a interseção entre a eclíptica e o equador). Segundo nota Neugebauer, "tanto quanto se sabe a partir da discussão no Almagesto, Ptolomeu foi o primeiro a insistir na constância da velocidade deste movimento (1° por século) enquanto que o próprio Hipparchos parece ter deixado esta questão em dúvida (Neugebauer, O., A History of Ancient Mathematical Astronomy, vol. II, p. 631).

Theon (séc. IV) fala acerca de teorias pré-ptolomaicas que afirmavam a existência de uma variação no valor da constante de precessão, ou seja teorias que afirmam a irregularidade no movimento dos equinócios. Este fenômeno foi convencionalmente denominado "trepidação". A crença no fenômeno da trepidação foi praticamente abolida por Tycho Brahe (1546-1601) que defendeu que ela era causada somente por erros observacionais. (Sobre os fenômenos da precessão e trepidação ver: Dreyer, J.L.E., A History of Astronomy ..., pp. 202-206, e p. 371, e Neugebauer, O., A History of Ancient ..., vol. I, pp. 292-298 e vol. II, pp. 631-634.

uma astronomia que fosse simultaneamente simples, precisa e harmônica. A simultaneidade destes era um requisito necessário para a ciência copernicana, porém, para a ciência ptolomaica, era apenas desejável. Um contemporâneo de Copérnico, sem o neo-platonismo deste, diante das pequenas discrepâncias da teoria ptolomaica, poderia reconhecê-las enquanto anomalias, porém provavelmente tentaria reduzi-las, sem alterar o núcleo da teoria astronômico-cosmológica dominante. Ou, na linguagem Kuhniana: ainda dentro dos padrões da ciência normal.

Estas considerações nos levam a analisar aquela que foi, a nosso ver, a principal responsável pela inovação introduzida pela Revolução Copernicana: a filosofia neo-platônica que ressurgia em fins da Idade Média.

Embora extremamente interessante a análise do neo-platonismo, e de suas várias correntes na Idade Média, estenderia em demasia esta tese e nos levaria muito longe dos nossos objetivos aqui. Assim nos restringiremos a analisar apenas os aspectos do neo-platonismo medieval que irão influenciar o desenvolvimento da ciência copernicana.

De acordo com a escola neo-platônica de pensamento, "formas e idéias eternas existiam inteiramente à parte de qualquer objeto material. A mente humana era uma dessas essências eternas e tinha sido formada para conhecer outras, se existissem. No processo do conhecimento os órgãos dos sentidos fornecem meramente um estímulo impelindo a mente a compreender as formas universais. Uma importante classe de tais for-

mas universais era as matemáticas"⁽⁵²⁾. Elas exemplificariam o Universo eterno das formas e idéias no meio deste mundo terrestre, transitório e imperfeito, "idéias que constituem os arquetipos, os modelos, os exemplares eternos das coisas cam-biantes e fugidias do mundo terreno"⁽⁵³⁾.

A tradição pitagórica também via o Universo em termos geométricos, concebendo o mundo terrestre, assim como os neo-platônicos, como mera sombra do mundo eterno do espírito puro, o mundo das matemáticas.

O Universo pitagórico, como vimos no Capítulo I, é construído em termos de uma harmonia mística dos números ou arranjos geométricos de unidade de espaço. Assim a estrutura última deste deve ser encontrada nos números e em esquemas de relações de números. Quanto mais simples a relação, mais pura ela será matematicamente, e portanto mais perfeita e mais próxima a natureza:

A corrente matemática desenvolvida pela tradição pitagórica gradualmente tornou-se parte do neo-platonismo.

A concepção neo-platônica da natureza, basicamente matemática, irá influenciar fortemente, segundo Crombie, uma das principais contribuições feitas durante a Idade Média ao método científico e ao desenvolvimento da ciência na Europa: a extensão das matemáticas a toda a ciência física, ao menos

(52) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. I, p. 33

(53) Koyré, A., Aristotélisme et Platonisme dans la Philosophie du moyen Âge, Études d'histoire de la pensée ..., p. 37

em princípio. Aristóteles tinha restringido o uso das matemáticas, na sua teoria da subordinação de uma ciência a outra, ao distinguir nitidamente as funções explicativas das matemáticas e físicas. O efeito desta mudança foi não só destruir essa distinção, mas antes mudar o tipo de questão respondida pelos cientistas"⁽⁵⁴⁾.

O neo-platonismo que refloreceu, com toda força nos séculos XV e XVI, influenciou, entre outros, Domenico Maria Novara (1454-1504), professor de matemática e astronomia em Bolonha, de quem Copérnico foi aluno e assistente. Novara transmitiu a Copérnico o "desejo de conceber a constituição do Universo em termos de relações matemáticas simples"⁽⁵⁵⁾, criticando o sistema ptolomaico a partir do ponto de vista neo-platônico, que considerava esse sistema excessivamente complexo e embaraçoso para satisfazer o princípio de harmonia matemática que deveria ser obedecido pela verdadeira ordem do Universo.

Alguns historiadores da ciência, como Neugebauer e Gingerich, consideram fictícia a tese de que o sistema heliocêntrico de Copérnico constitua uma simplificação significativa em relação ao mecanismo de Ptolomeu. Gingerich, por exemplo, afirma que o sistema copernicano nem é mais preciso, nem mais simples, ao contrário: "é levemente mais complicado que o sistema original de Ptolomeu"⁽⁵⁶⁾. Se nos limitarmos a con

(54) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 118.

(55) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 175.

(56) Gingerich, O., Crisis versus Aesthetic in the Copernican Revolution, p. 84.

siderar os círculos dos mecanismos de longitude para o Sol, Lua e planetas, Copérnico requer 18 círculos enquanto Ptolomeu 15.

A questão, a meu ver, é que a simplicidade requerida por Copérnico é mais qualitativa que quantitativa e portanto não deve ser medida apenas pelo número de círculos. O que inquieta Copérnico é a violação, por parte dos ptolomaicos, dos "princípios fundamentais" acerca da uniformidade e regularidade dos movimentos celestes; é o fato deles "não usarem os mesmos princípios e premissas" para a determinação do movimento das esferas do Universo e dos cinco planetas e "nas demonstrações dos movimentos e revoluções aparentes".

Copérnico produziu um sistema matemático no mínimo tão preciso quando o de Ptolomeu, "com vantagens e desvantagens matemáticas. Teórica e qualitativamente era, certamente, mais simples, já que dava uma explicação unificada para um número de diferentes características dos movimentos planetários que no sistema ptolomaico eram arbitrárias e desconectadas"⁽⁵⁷⁾. Porém essa vantagem, apontada por Crombie, é claramente neo-platônica.

Logo no início do *De Revolutionibus orbium coelestium* Copérnico, na carta-prefácio endereçada ao Papa Paulo III, apresenta suas inquietações neo-platônicas quanto ao fato do sistema ptolomaico romper com os princípios de harmonia platônica:

(57) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 184.

"Eles (os ptolomaicos) nem têm sido capazes de distinguir nem deduzir a coisa principal — a saber, a forma do Universo e a simetria fixa de suas partes. Com eles é como se um artista reunisse mãos, pés, cabeça e outros membros da imagem de diversos modelos, cada parte muitíssimo bem desenhada, mas sem relação com o mesmo corpo. Uma vez que elas não se adaptam umas às outras de forma alguma, o resultado seria antes um monstro que um homem" (58).

O monstro a que Copérnico se refere corresponde ao sistema de círculos excêntricos de Ptolomeu que embora ofereça, em grande parte, solução aos movimentos aparentes com cálculos apropriados, é obrigado a admitir, diversas vezes, dispositivos como equantes que, segundo Copérnico, "parecem opor-se aos princípios fundamentais acerca da regularidade do movimento" (59).

Poderíamos nos perguntar por que a astronomia ptolomaica jamais havia se mostrado tão monstruosa, como Copérnico a via, uma vez que este monstro cosmológico não foi criado pela tradição astronômica medieval, mas antes pelo próprio Ptolomeu, no século II. Os medievais apenas introduziram alguns novos epicíclon e excêntricos, porém a introdução dos equantes e a conseqüente violação da interpretação platônica da natureza já estavam presentes no *Almagesto*.

(58) Copérnico, N., De Revolutionibus orbium coelestium, prefácio dedicado ao Papa Paulo III,

(59) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., prefácio, p. 8.

Segundo Kuhn: "acabava de produzir-se uma metamorfose"⁽⁶⁰⁾.

Porém Kuhn parece considerar que a metamorfose havia se processado dentro do próprio *corpus* teórico astronômico. Primeiro, porque não mais existia um único sistema ptolomaico senão vários que surgiram a partir de críticas árabes e algumas européias, o que acarretou um notável grau de confusão dentro da tradição astronômica. Segundo, porque havia, como comentamos anteriormente, algumas discrepâncias entre as previsões e os resultados observacionais, discrepâncias estas que, embora já existissem nos tempos de Ptolomeu, deveriam, ao ver de Kuhn, ter, ao menos, diminuído nos treze séculos seguintes, o que não ocorreu.

Por outro lado, embora reconhecendo os dois problemas internos à astronomia ptolomaica levantados por Kuhn, considero que a metamorfose processou-se nos olhos do astrônomo, que agora olhava a astronomia não mais a partir de um ponto de vista aristotélico e sim neo-platônico. Somente olhos platônico-pitagóricos poderiam ver na falta de harmonia matemática e na introdução de equantes a geração de um monstro.

Isto porque apenas olhos platônico-pitagóricos consideram "o semelhante infinitamente mais belo que o dessemelhante"⁽⁶¹⁾, apenas o sentido neo-platônico de beleza e harmonia poderia privilegiar os movimentos regulares e simétricos.

(60) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, p. 138.

(61) Platão, Timaeus, 34^b.

cos em detrimento dos movimentos não-uniformes e assimétricos.

A opção pelo sistema copernicano é neste momento estética e não objetiva. "A preferência seria objetiva (afirma Feyerabend) somente se houvesse razões 'objetivas' para o platonismo contra o aristotelismo. Mas sabemos muito bem que harmonia pode ser harmonia de aparências (...) e nós aprendemos, especialmente a partir da teoria quântica, que relações matematicamente harmoniosas, tais como são encontradas por exemplo na teoria das micropartículas de Schrödinger, não refletem necessariamente um arranjo igualmente harmônico da natureza"⁽⁶²⁾.

A teoria de Kuhn, por nós criticada, de que a astronomia do século XVI estava vivendo uma situação de crise — o que teria gerado um monstro — é também criticada por Owen Gingerich que afirma que suas pesquisas o convenceram que "esta suposta crise na astronomia é muito esquiva e difícil de encontrar, pelo menos nos lugares onde nós normalmente procuramos. Como um simples mas poderoso exemplo do que tenho em mente, deixe-me citar o trabalho dos dois principais elaboradores de tábuas astronômicas do século XVI, Johannes Stoeffler (ptolomaico) e Johannes Stadius (copernicano)"⁽⁶³⁾.

(62) Feyerabend, P.K., Science in a Free Society, (London: Verso Edition, 3^a ed., 1985) p. 51.

Feyerabend salienta que está se referindo à teoria original de Schrödinger e não à forma que ela tomou após ser incorporada na interpretação de Copenhagem.

(63) Gingerich, O., Crisis versus Aesthetics in the Copernican Revolutions, p. 86.

Utilizando-se de refinada teoria planetária moderna e computadores, Gingerich calculou com bastante precisão a posição dos planetas durante o século XVI e pode comparar os padrões de erros nas previsões das posições planetárias de Stoeffler e Stadius. "O primeiro resultado desta comparação é que os erros atingem aproximadamente a mesma magnitude antes e depois de Copérnico. Nas tábuas astronômicas de Regiomontanus e Stoeffler, o erro na longitude para Marte atinge algumas vezes 5° . Contudo, em 1625, os erros copernicanos para Marte atingiam aproximadamente 5° (...). Se a escandalosa crise da astronomia ptolomaica (preconizada por Kuhn) era sua falha em predizer, precisamente, as posições planetárias, Urânia ficou com uma crise semelhante em suas mãos depois de Copérnico"⁽⁶⁴⁾.

A tese de que a astronomia, no século XVI, havia entrado num estado de crise gerando assim um monstro que teria levado Copérnico a encetar uma revolução na astronomia,

(64) Gingerich, O., Crisis versus Aesthetic in the Copernican Revolution, p. 86.

Clark Glymour analisando a astronomia copernicana e ptolomaica afirma que: "de um modo geral, a teoria copernicana estava fundamentada sobre o mesmo tipo de evidência que estava a teoria ptolomaica: a evidência da astronomia posicional, os registros das posições do Sol, da Lua e dos planetas sobre a esfera celeste em tempos diferentes. Além disso, já que a evidência estava confinada simplesmente em tais posições, ambas teorias eram capazes de salvar os fenômenos" (Glymour, C., Theory and Evidence, Princeton, Princeton University Press, 1980, pp. 178-179).

é defendida por Thomas Kuhn tanto no seu *The Copernican Revolution* (1957) como no *The Structure of Scientific Revolutions* (1962) onde afirma:

"No começo do século XVI grande número dos melhores astrônomos da Europa foi reconhecendo que o paradigma astronômico estava falhando na aplicação a seus próprios problemas tradicionais. Este reconhecimento foi pré-requisito para a rejeição por Copérnico do paradigma ptolomaico e sua busca de um novo. Seu famoso prefácio apresenta uma das clássicas descrições de um estado de crise"⁽⁶⁵⁾.

No entanto Kuhn, ao comentar o capítulo X do Livro Primeiro do *De Revolutionibus* ... - onde Copérnico apresenta seus argumentos em favor da "admirável simetria" e a "ligação harmoniosa entre o movimento e a magnitude das esferas" que podem ser verificadas na ordenação celeste proposta por ele - apresenta uma visão bastante próxima daquela que defendemos aqui:

"Cada um dos argumentos (empregados por Copérnico para tentar persuadir seus contemporâneos da validade de seu novo enfoque) se refere a um aspecto das aparências que pode ser explicado tanto pelo sistema de Copérnico como pelo de Ptolomeu, tentando mostrar em todos e cada um dos casos quanto mais harmoniosa, coerente e natural é a explicação copernicana. O número dos tais argumentos é elevado e a soma de

(65) Kuhn, T.S., The Structure of Scientific Revolutions, (Chicago: Chicago University Press, 1962), p. 69.

provas em favor da harmonia é, antes de tudo, impressionante".

"(...). Os argumentos de Copérnico não são pragmáticos. Não apelam para o sentido utilitário de quem pratica a astronomia, senão única e exclusivamente para o seu sentido estético. (...). Eles não chamaram a atenção do astrônomo de forma especial, pois as harmonias sobre as quais fincava o pé Copérnico não lhe permitiam efetuar melhor o seu trabalho. As novas harmonias não aumentavam nem a precisão nem a simplicidade. Assim, pois, podiam atrair essencialmente (e assim o fizeram) a este grupo limitado e talvez um pouco irracional que se ocupava da astronomia matemática e cujo neoplatônico interesse pelas harmonias matemáticas não podia ver-se obstruído por páginas e mais páginas de complexas matemáticas que finalmente conduziam a previsões numéricas apenas um pouco melhores do que as que haviam conhecido até então. Por sorte (...) havia alguns astrônomos deste tipo. Sua obra constitui um elemento essencial da revolução copernicana"⁽⁶⁶⁾.

Creio, portanto, que existem duas leituras kuhnianas sobre as causas que teriam levado Copérnico a abandonar o geocentrismo, iniciando uma revolução na astronomia. Gingerich, e muitos outros críticos de Kuhn, parecem encontrar apenas uma delas, a teoria da crise, e a ela dirigem suas críticas, com argumentos plenamente satisfatórios. Porém Gingerich

(66) Kuhn, T.S., The Copernican Revolution, cap. V, p. 180.

não vê a segunda leitura de Kuhn, por nós apontada acima, de acordo com a qual Copérnico foi guiado não pelo sentido prático da astronomia, senão única e exclusivamente pelo seu sentido estético, o que torna Kuhn bem mais próximo de Gingerich, segundo o qual: a cosmologia radical de Copérnico "foi, tal qual a revolução de Einstein quatro séculos depois, motivada pela apaixonada busca pelas simetrias e de uma estrutura estética de Universo"⁽⁶⁷⁾.

Um segundo aspecto do neo-platonismo que, a meu ver, irá influenciar Copérnico e sua visão heliocêntrica do Universo é o culto ao Sol.

O Sol representa Deus no Universo material neo-platônico. E embora esse Universo material fosse, de acordo com os neo-platônicos, uma mera sombra das formas e idéias eternas, eles nunca puderam prescindir completamente dele.

Este culto, neo-platônico, ao Sol é expresso de forma bastante clara em uma passagem do livro *De divinis nominibus* de Dionisius Areopagita, citado por Galileo em uma carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-Duquesa de Toscana, quando este último fala da "nobresa do Sol", "ministro máximo da Natureza e de certo modo alma e coração do mundo, (que) infunde nos outros corpos que o circundam não só luz mas também o movimento, ao girar sobre si mesmo".

(67) Gingerich, O., "Crisis" versus Aesthetic in the Copernican Revolution; Copernicus, Yesterday and Today, Beer, A. and Strand K., ed., 1975, p. 90.

Dionisius Areopagita escreve o seguinte sobre o Sol: "A luz também reúne e faz convergir para ela todas as coisas que se vêem, que se movem, que brilham, que se aquecem e, numa palavra, todas as coisas que são sustentadas pelo seu esplendor. Por isso o Sol é chamado Ilios, porque congrega e reúne todas as coisas dispersas". E um pouco mais adiante escreve sobre o mesmo Sol: "Se, com efeito, este Sol, que nós vemos e que é uno e difunde a luminosidade de maneira uniforme, renova, alimenta, protege, conduz à perfeição, divide, reúne, aquece, torna fecundas, aumenta, muda, firma, produz, move e torna vivas todas as essências e qualidades do que cai sob os sentidos embora sejam múltiplos e dissímiles e todas as coisas deste Universo, segundo sua capacidade, participam do único e mesmo Sol e as causas de múltiplas coisas, que dele participam, ele as tem antecipadas igualmente em si, certamente com maior razão etc"⁽⁶⁸⁾.

Quando Copérnico discute a posição do Sol no *De Revolutionibus*... este culto neo-platônico fica bastante claro.

Este luzeiro especial é colocado, por Copérnico, em uma posição de onde pode iluminar todas as coisas ao mesmo tempo, fecundando a Terra com sua luz e calor. "Na verda-

(68) Dionisius Areopagita, *De divinis nominibus*, citado por Galilei, G., carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-duquesa de Toscana, (1615), apud. Trad. Carlos Arthur Ribeiro do Nascimento, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, (5), 1986, p. 121.

de (afirma ele) não é sem razão que o Sol foi chamado por alguns de farol do mundo e por outros de seu Espírito, chegando alguns a chamar-lhe o seu governador. (Hermes) Trimegisto apelidou-o de Deus visível e Sofocles, em *Electra*, o vigia universal. Realmente o Sol está como que sentado num trono real, governando a sua família de astros, que giram à sua volta. (...). A Terra é fecundada pelo Sol, resultando um parto anual. Verificamos, portanto, nesta ordenação, a maravilhosa simetria do Universo"⁽⁶⁹⁾.

Alexandre Koyré analisando os motivos que guiaram o pensamento de Copérnico afirma que é difícil compreendê-los. E embora Koyré considere que houve, de um lado, um motivo físico (a impossibilidade de uma explicação física, mecânica da astronomia ptolomaica) segundo ele se nos guiarmos pelo o que o próprio Copérnico nos diz a respeito da forma como ele chegou a seu novo sistema certamente não chegaremos a sua astronomia e sim a uma astronomia no gênero da que Tycho Brahe desenvolveu. A qual, aliás, segundo Koyré, deveria logicamente colocar-se entre Ptolomeu e Copérnico, e não depois deste último.

"O que nos mostra que a história do pensamento científico não é inteiramente lógica. Assim, para compreender-lhe a evolução, é mister levar em conta fatores extralógicos. Dessa forma, uma das razões - provavelmente a mais profunda -

(69) Copérnico, N., *De Revolutionibus ...*, cap. X, Livro Primeiro.

da grande reforma astronômica operada por Copérnico não era absolutamente científica.

"De minha parte (continua Koyré), penso que, se Copérnico não se deteve no estágio de Tycho Brahe - admitindo que ele tenha tido essa intenção -, foi por uma razão de estética, ou de metafísica, por considerações de harmonias. Sendo o Sol a fonte de luz e sendo a luz o que há de mais belo e de melhor no mundo, parecia-lhe, de acordo com a razão que governa o mundo e que o cria, que essa luminária devesse ser colocada no centro do Universo que ela está encarregada de iluminar. Copérnico o diz expressamente e creio que não há razão alguma para não acreditar na adoração que tinha pelo Sol; tanto mais que o grande astrônomo Kepler, que verdadeiramente inaugura a astronomia moderna, é ainda mais heliôlatra do que Copérnico"⁽⁷⁰⁾.

Diante destas considerações, repito e sintetizo a minha visão sobre os motivos que teriam levado Copérnico a encetar uma Revolução na astronomia: a inovação introduzida pela Revolução Copernicana não nasceu da observação de novos fatos nem da falta de explicação de fatos antigos; mas antes de uma reinterpretação neo-platônica de fatos bastante conhecidos pelos astrônomos do século XV. Copérnico, como afirma Crombie, "foi um supremo exemplo de um homem que revolucionou a ciência ao olhar fatos velhos de um novo modo"⁽⁷¹⁾, basica

(70) Koyré, A., Les étapes de la cosmologie scientifique, Étude d'histoire de la pensée ..., p. 95.

(71) Crombie, A.C., Augustine to Galileo, vol. II, p. 175.

mente neo-platônico.

Portanto creio que a principal responsável pela inovação introduzida pela Revolução Copernicana não é de caráter interno à astronomia, mas sim externo. Ela diz respeito à filosofia platônico-pitagórica ou neo-platônica abraçada por Copérnico.

2.4- As esferas celestes: sua ordem e seus movimentos

"No meio de todos (os planetas) encontra-se o Sol. Ora, quem haveria de colocar neste templo, belo entre os mais belos, um tal luzeiro em qualquer outro lugar melhor do que aquele donde ele pode iluminar todas as coisas ao mesmo tempo? ... Realmente o Sol está como que sentado num trono real, governando a sua família de astros, que giram à sua volta"

N. Copérnico^{*}

Em 1543 foi publicado o tratado astronômico de Nicolau Copérnico (1473-1543), escrito por volta de 1530, intitulado *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. No entanto, as novas idéias de Copérnico sobre a real estrutura do Universo começaram a circular entre os astrônomos europeus por volta de 1514, quando ele divulgou, embora anonimamente, o seu *De Hypothesibus Motuum Coelestium a se Constitutis Commentariolus*. Nesse pequeno tratado sobre astronomia, Co

^{*} Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. X, Livro Primeiro.

pérrnico expõe, sem cálculos, pela primeira vez sua visão cosmológica⁽⁷²⁾.

Porém, sua teoria astronômica, propriamente dita, só será apresentada detalhadamente anos mais tarde, ao longo dos seis livros que compõem o *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, dos quais apenas o Livro Primeiro é dirigido aos

(72) Copernici, N., De Hypothesis Motuum Coelestium a se Constitutis Commentariolus, ed. A. Lindhagen, Estolcomo, 1881.

Existe uma certa controvérsia a respeito da data de composição do Commentariolus, segundo Alexandre Koyré: "M. Curtze o estimou composto depois da conclusão do De Revolutionibus, entre 1533 e 1539 e J.L. Dreyer aderiu, embora não exatamente, à sua opinião (depois do De Revolutionibus, mas antes de 1533); L. Birkenmajer, ao contrário, o estimava escrito antes do De Revolutionibus e chega mesmo a precisar a data: 1512 (Mikolaj Kopernic, p. 79). Hoje a questão está decidida em favor de L. Birkenmajer que descobriu, no catálogo da sua biblioteca, feito pelo historiador Mathias de Miechow (de Cracóvia) em 19 de maio de 1514, a seguinte notícia: "Item sexternus Theorice asserentis terram moveri, solem vero quiescere" que somente se pode aplicar ao Commentariolus (Stromata Copernicana, Cracovic, 1924, e Aleksander Birkenmajer, "Le premier systéme héliocentrique imaginé par Nicolas Copernic", in La Pologne au VII^e congrès international des sciences historiques, vol. I, p. 95-96. Varsovie, 1933)". (Koyré, A., La Révolution Astronomique, Paris: Herman, 1961, p. 86n.).

não-especialistas. Nele Copérnico apresenta seus argumentos a favor de seu sistema sem entrar muito em detalhes matemáticos como o faz nos cinco livros restantes.

O Universo, para Copérnico "é esférico, ou porque esta é a forma mais perfeita de todas, um todo inteiro sem qualquer junção de partes; ou porque esta figura, entre todas, é a que tem o maior volume e assim é a mais conveniente para encerrar e conservar todas as coisas; ou até porque as partes mais perfeitas do Universo, isto é, o Sol, a Lua e as estrelas, se apresentam com essa forma e porque todo o Universo tende a ser por ela delimitado. E isto mesmo se vê nas gotas de água e nos outros corpos líquidos quando revestem a sua forma natural. Pelo que ninguém deverá hesitar em atribuir tal forma aos corpos celestes"⁽⁷³⁾. A Terra, para Copérnico, também é esférica e isto ele conclui a partir de considerações observacionais bastante semelhantes àquelas feitas pelos antigos.

O movimento dos corpos celestes é circular. "Com efeito, o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo, reproduzindo a sua forma no próprio ato, de um corpo extremamente simples em que não se pode indicar princípio nem fim, de um corpo que, girando sobre si mesmo, sem mudar de lugar, apresenta sempre o mesmo aspecto"⁽⁷⁴⁾.

(73) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. I, Livro Primeiro.

(74) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. IV, Livro Primeiro.

Além de circulares, os movimentos celestes, no sistema copernicano, são uniformes e perpétuos - mesmo aqueles aparentemente irregulares.

Os movimentos aparentemente irregulares, correspondem a uma composição de movimentos circulares; isto, porque somente através de movimentos circulares, estes corpos celestes poderiam, segundo Copérnico, retornar às suas posições originais, tais como são observadas. "Assim, por exemplo, é por um movimento composto de círculos que o Sol repete para nós o ciclo da desigualdade das noites e dias e as quatro estações do ano. Muitos movimentos são reconhecidos naquele movimento. Com efeito, é impossível que, por uma só esfera, um corpo celeste simples seja movido não uniformemente. Para que isso acontecesse, seria preciso que houvesse inconstância na força motriz, quer de natureza extrínseca quer intrínseca, ou disparidade do corpo em movimento. Mas a inteligência rejeita ambas explicações, pois é inaceitável atribuir tal coisa a corpos que se encontram estabelecidos numa ordem perfeitíssima. É natural que os seus movimentos, embora regulares, nos apareçam como irregulares, ou porque os pólos dos seus círculos são diferentes (dos da Terra), ou porque talvez a Terra não esteja no centro dos círculos nos quais aqueles se

movem"⁽⁷⁵⁾.

Quanto ao movimento do Sol, Lua e Terra, segundo Copérnico é mais adequado explicar os fenômenos celestes através de um sistema heliocêntrico, no qual o Sol permanece imóvel enquanto que a Terra gira em torno do seu eixo, fazendo o dia e a noite, e se desloca sobre uma órbita circular ao redor de um centro próximo do Sol, do que através do sistema geocêntrico. Ele admite, no entanto, "que os movimentos do Sol e da Lua possam ser demonstrados, assim como que a Terra esteja estacionária. Isto é, contudo, menos adequado para (a demonstração dos movimentos dos) planetas restantes"⁽⁷⁶⁾.

(75) Idem

No cap. XV do Livro III, já tendo defendido a idéia de que a Terra não estava estacionária, nem correspondia ao centro ao qual as orbes celestes se referem, Copérnico afirma que a não uniformidade do movimento aparente do Sol (que na realidade está imóvel) "explica-se pelo fato do movimento do centro da Terra na sua revolução anual não ocorrer precisamente à volta do centro do Sol", mas em torno de um ponto perto dele. Quanto ao movimento dos planetas, ele é discutido por Copérnico no Livro V, onde ele mostra que "os centros das esferas dos planetas não estão tão próximos da Terra; mas antes perto do Sol". No que se refere à não uniformidade aparente do movimento planetário, Copérnico afirma no cap. III, do Livro V que "há duas causas pelas quais o movimento uniforme de um planeta se apresente como não uniforme: o movimento da Terra e o movimento próprio do planeta".

(76) Texto extraído de algumas folhas manuscritas, que Copérnico pretendia, inicialmente, incluir no seu De Revolutionibus ..., e das quais, mais tarde, retirou o seu autógrafo. Este material, embora não apareça nas quatro primeiras edições do De Revolutionibus ..., foi incorporado nas edições seguintes, após a recuperação do autógrafo de Copérnico. Citado a partir do Copernicus N., On the Revolutions, cap. 11, Livro I, J. Dobrzycki (ed), trad. Edward Rosen (Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1978).

A possibilidade do movimento da Terra é levantada no *De Revolutionibus* ... a partir da constatação de que "toda mudança de posição que se vê ou é devida ao movimento da coisa observada, ou do observador, ou então seguramente de um e de outro"⁽⁷⁷⁾. Sendo a Terra o lugar de onde a rotação celeste é observada, se algum movimento for atribuído à Terra, o mesmo movimento aparecerá em tudo que é exterior à ela, mas em direção oposta.

Além disso, "como é o Céu que contém todas as coisas e constitui o espaço onde todos os corpos celestes tem o seu lugar, não se vê imediatamente por que é atribuído movimento não ao que está localizado mas àquilo em que está localizado"⁽⁷⁸⁾.

Contudo, ainda que admitamos a rotação diurna da Terra, persiste um outro problema, a saber, o fato dos planetas serem vistos, algumas vezes, mais próximos da Terra e, outras vezes, mais distantes dela; isto leva a crer que a Terra não é o centro de seus círculos (embora não esteja claro, ainda, se é a Terra que se aproxima e se afasta dos planetas, ou se são eles que ora aproximam-se ora afastam-se da Terra.

Porém Copérnico considera que não seria de se admi

(77) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. V, Livro Primeiro.

(78) idem

Devemos notar que dentro da cosmologia aristotélica o movimento era conferido ao locus (lugar) e não ao locatum (localizado); já que o Céu é o locus (lugar) do Universo e ele é que se movimentava.

rar se alguém, além da rotação diária, dotasse a Terra de um outro movimento fora do centro, como pensava Philolaus, o pitagórico.

"Porque se alguém negar que a Terra ocupa o ponto médio ou centro do mundo, reconhecendo, contudo, que a distância (entre os dois) é insignificante em comparação com (a distância entre o centro e) a esfera das estrelas fixas, mas considerável e inteiramente aparente em relação aos círculos orbitais do Sol e dos planetas; e se por esta razão ele pensar que seus movimentos parecem irregulares pois eles são organizados ao redor de um centro diferente do centro da Terra, ele poderá talvez ser capaz de apresentar uma razão não absurda para os movimentos que parecem irregulares"⁽⁷⁹⁾.

Poder-se-ia objetar como o fizeram anteriormente Ptolomeu (Almagesto, I, cap. 5) e Sacrobosco (De Sphaera, cap. 1) que é possível demonstrar-se pela observação e geometria que a Terra está no centro do Universo. Pois, por exemplo, se a Terra estivesse mais próxima de um dos polos celestes então o plano do horizonte sempre cortaria em partes desiguais as secções dos Céus acima da Terra e abaixo dela; e, também, o grande círculo dos signos do zodíaco (eclíptica) seria cortado desigualmente pelo plano do horizonte. "Mas isso nunca é visto, pois seis das doze partes (que compõem o zodíaco) estão sempre e em todo lugar visíveis acima da Terra, e as outras seis invisíveis; e quando estas seis últimas

(79) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. V, Livro Primeiro.

estão todas visíveis de uma só vez, as outras seis estão ao mesmo tempo invisíveis" (80).

Desse argumento segue-se também que a Terra, em relação à imensidade do Céu, é um ponto, pois, em todo lugar o plano traçado através do olho, que nós chamamos de horizonte, corta o Céu sempre, e exatamente, na metade. "E isto não aconteceria se a dimensão da Terra em relação à sua distância do Céu fosse perceptível; pois neste caso somente o plano desenhado através de um ponto junto ao centro da Terra cortaria a esfera no meio" (81), e aquele, desenhado através de qualquer parte da superfície da Terra, a dividiria em duas partes desiguais.

É claro que, também, destes mesmos argumentos segue-se que a Terra não pode mover-se em qualquer direção para longe do centro. Pois as mesmas coisas resultariam se a Terra tivesse qualquer outra posição fora do centro (Almagesto, cap. 7, livro I).

Para que fiquem ainda mais claros os argumentos dos antigos dos quais se seguem: a) centralidade da Terra, b) a idéia de que a dimensão da Terra é desprezível quando comparada com a dimensão do Universo, e c) a imobilidade da Terra, vamos apresentá-los de uma forma mais sistemática como o fez Copérnico:

Seja o horizonte o círculo A B C D e seja a Terra o centro do horizonte, pelo qual as estrelas visíveis são se

(80) Ptolomeu, C., Almagesto, livro I, cap. 5.

(81) Ptolomeu, C., Almagesto, livro I, cap. 6.

paradas das invisíveis. Agora se — servindo-nos de uma dióptrã, de um astrolábio ou de um nível de água colocados no ponto E onde está centrada nossa visão (Terra) — unirmos, por exemplo, o ponto (C), onde nasce a primeira estrela de Câncer, e o ponto (A), onde neste momento está se pondo a primeira estrela de Capricórnio, verificamos que esta linha reta passa pelo ponto E. "Portanto, uma vez que A, E, C, estão em linha reta, de acordo com a dióptrã, é claro que essa linha é um diâmetro da eclíptica, pois seis signos do zodíaco perfazem um semi-círculo, cujo o centro E é o mesmo que o do horizonte. Mudada agora a situação de modo que a primeira estrela de Capricórnio nasça em B, Câncer pôr-se-á em D e B, E, D será uma linha reta e o diâmetro da eclíptica. Ora já se viu que A, E, C é também um diâmetro do mesmo círculo. Está portanto demonstrado que aquele E, na intersecção, é o centro" (82).

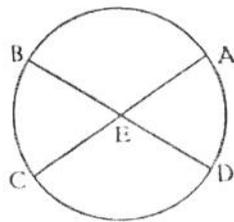


Figura I - extraída do De Revolutionibus (München: Verlag, R. Oldemboug, 1949, cap. VI, livro I, p. 15).

(82) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap VI, Livro Primeiro.

E embora a linha traçada a partir da superfície da Terra seja necessariamente diferente daquela traçada a partir do centro da Terra, devido às suas extensões imensas em comparação com a dimensão da Terra elas parecem mais do que linhas paralelas, parecem ser uma única linha, uma vez que o espaço entre elas é pequeniníssimo.

Copérnico reconhece os raciocínios geométricos de seus predecessores, porém afirma que com eles "certamente se demonstra satisfatoriamente que o Céu é imenso em comparação com a Terra e dá a impressão de um tamanho infinito"⁽⁸³⁾ mas não se segue deste raciocínio que a Terra deva estar parada no centro do Universo.

Isto porque Copérnico, como vimos, antes de apresentar os argumentos dos antigos introduziu um dado (De Revolutionibus, livro I, cap. 5) que certamente não seria aceito pela maioria de seus predecessores, a saber, que não só a grandeza da Terra é desprezível quando comparada com o tamanho do Universo, mas também a distância do centro do Universo até a Terra.

Este foi o grande passo de Copérnico: ele estendeu o Universo de tal forma que a órbita anual da Terra ao redor do Sol tornou-se desprezível em comparação com o tamanho da esfera das estrelas fixas.

Esta visão de Copérnico é reafirmada no Cap. X, Livro Primeiro:

(83) Copérnico, N., De Revolutionibus, cap. VI, Livro Primeiro.

"Em comparação com as dimensões de quaisquer outras órbitas dos planetas, a distância da Terra ao Sol é tal que pode considerar-se suficientemente apreciável, porém o tamanho do Universo apresenta-se tão grande que a distância da Terra ao Sol é imperceptível em relação à dimensão da esfera das estrelas fixas". Portanto a linha traçada, até a esfera das estrelas fixas, a partir da superfície da Terra e aquela traçada a partir do Sol, por causa da sua extensão parecem também ser uma única linha. Portanto os argumentos dos antigos tornaram-se irrelevantes para a discussão sobre se o centro do Universo (não das orbes dos planetas) corresponde ao Sol, ou a um ponto próximo ao Sol ou à Terra.

Em seguida Copérnico volta à discussão da rotação diurna, afirmando que deveríamos ficar mais admirados se o Universo tão vasto fizesse uma rotação em vinte e quatro horas, de que o mesmo acontecesse com a Terra, que corresponde a uma parte mínima dele.

Os antigos, como Ptolomeu (Almagesto, cap. 7, livro I), alegavam também que se a Terra se movesse, ao menos com a rotação diária, teria que ser através de um movimento muito rápido, capaz de fazer a Terra completar uma revolução em vinte e quatro horas. Porém as coisas que giram muito rápido e violentamente estão sujeitas ao fenômeno da dispersão, se estiverem juntas; e parecem incapazes de se associar. "E, com o passar do tempo, diz Ptolomeu, a Terra dispersa teria passado além do Céu, o que é certamente ridículo, e a fortiori também todas as criaturas vivas e todas as outras massas separadas não poderiam de modo algum permanecer para-

das. Além disso, os corpos que caem, não cairiam em linha reta para as posições que lhes estão destinadas, e certamente não cairiam ao longo de uma linha perpendicular, porque esta posição seria desviada pela grande velocidade da Terra. Também veríamos as nubes e tudo o que está impresso no ar continuamente arrastados para Oeste"⁽⁸⁴⁾.

Copérnico, por sua vez, considera vãos os temores de Ptolomeu de que a Terra e os objetos terrestres venham a se dispersar devido ao movimento de rotação. Pois, se a Terra se movesse, seu movimento seria, de acordo com Copérnico, natural e não-violento; e uma rotação produzida pela natureza é muito diferente e tem efeitos contrários àquelas produzidas pela arte e engenho humanos, provocadas pela violência.

Copérnico, contudo, vai mais longe e inverte o argumento da dispersão, questionando: "porque não se levanta a mesma questão ainda com mais intensidade acerca do Universo cujo movimento tem que ser tanto mais rápido quanto o Céu é maior do que a Terra? Ou tornou-se o Céu imenso porque foi desviado do centro por um movimento de força indescritível?"⁽⁸⁵⁾. Se este raciocínio fosse razoável, argumenta Copérnico, quanto mais alto o Céu fosse levado pela força do seu movimento, maior teria que ser a sua velocidade de rotação já que teria que percorrer uma circunferência cada vez

(84) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. VII, Livro Primeiro.

(85) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. VIII, Livro Primeiro.

maior no mesmo período de vinte e quatro horas.

"Assim a velocidade aumentaria o movimento e o movimento aumentaria a velocidade até o infinito. Mas segundo aquele axioma da Física - o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma - o Céu terá necessariamente que permanecer imóvel"⁽⁸⁶⁾.

Além da Terra e da água que a ela está ligada, segundo Copérnico, também gira com ela uma parte do ar e tudo que de algum modo está ligado à Terra, por exemplo as nuvens e tudo que está suspenso no ar, como os corpos que caem. "E isto se passa assim, quer porque o ar circundante revista a mesma natureza que a Terra, por estar misturado com a matéria terrestre e aquosa, quer porque o movimento do ar é adquirido, pois partilha com a Terra da sua rotação incessante, devido à contigüidade e à ausência de resistência (...) Impõe-se, assim, dizer que o movimento dos corpos que caem e dos que sobem no Universo é um movimento duplo e em todos os casos rigorosamente composto de movimento retilíneo (para baixo, no caso dos objetos terrestres e aquosos, devido aos seus pesos; ou para cima, no caso de objetos de natureza ígnea) e circular (devido ao movimento de rotação que partilha com a Terra)"⁽⁸⁷⁾.

Quando um corpo simples está na sua posição natural e na sua unidade, segundo Copérnico, ele não pode ter nenhum

(86) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. VIII, Livro Primeiro.

(87) idem

outro movimento exceto o circular, uma vez que o corpo simples permanece totalmente em si mesmo como um corpo em repouso. O movimento retilíneo manifestar-se-á nos objetos que abandonam a sua posição natural ou são arrastados para fora dela ou de qualquer modo de lá saem. "Mas nada repugna tanto à ordenação e forma do Universo como existir qualquer coisa fora do seu lugar. Daqui resulta que o movimento retilíneo só ocorre nos corpos que não se encontram nas suas exatas condições, nem em harmonia perfeita com as suas naturezas - quando eles estão separados dos seus todos e abandonam suas unidades" (88).

Além disso, acrescenta Copérnico, os corpos que se movem para cima ou para baixo não possuem um movimento simples, regular e uniforme - mesmo sem levar em conta o movimento circular. Pois eles não podem estar em equilíbrio com as suas levesas e seus pesos; assim, por exemplo, os corpos que caem possuem um movimento mais lento no começo mas aumentam suas velocidades à medida que caem, o que mostra que a causa de sua violência era a matéria terrestre.

"Agora o movimento circular processa-se sempre com regularidade, pois ele tem uma causa constante; mas (no movimento retilíneo) a aceleração para, pois, quando os corpos chegam aos seus lugares naturais, eles não são mais leves ou pesados, e assim o movimento termina. Portanto, uma vez que o movimento circular pertence ao todo e o retilíneo às par-

(88) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. VIII, Livro Primeiro.

tes, podemos dizer que o movimento circular convive com o retilíneo, como o ser vivo com o ser doente"⁽⁸⁹⁾.

Quando Copérnico concebe o movimento circular como natural para as coisas da Terra ele rompe, assim como o fez Oresme (ver secção 2.2.3, nota 33) com a concepção aristotélica, segundo a qual este movimento é natural, exclusivamente, para os objetos celestes.

Poder-se-ia perguntar: que leis regeriam estes movimentos circulares, naturais, dos objetos terrestres? As mesmas leis que regem os movimentos circulares, naturais, dos objetos celestes? Estaria Copérnico, implicitamente, rompendo com a distinção aristotélica entre dinâmica terrestre e dinâmica celeste?

Segundo Koyré, as respostas de Copérnico aos argumentos aristotélicos contra o movimento da Terra, embora bastante fracas "trazem em si os germes de uma nova concepção que será desenvolvida pelos pensadores que o sucederão. Os raciocínios de Copérnico aplicam as leis da 'mecânica celeste' aos fenômenos terrestres, um passo que, implicitamente, implica o abandono da velha divisão qualitativa do Cosmo em dois mundos diferentes"⁽⁹⁰⁾.

Sintetizando: os dois principais argumentos aristotélicos contra o movimento da Terra - a saber o da disper-

(89) idem

(90) Koyré, A., Études d'histoire de la pensée scientifique, (texto de uma conferência feita no Palácio da Descoberta a 7 de maio de 1955), p. 204.

são e o do desvio que os corpos que caem sofreriam durante seu movimento -- são afastados por Copérnico, uma vez que o movimento diurno da Terra dentro do seu sistema, é natural, e não violento, e é compartilhado por tudo que a ela está ligado -- a água, o ar situado próximo da Terra e os objetos nele suspensos.

Portanto, como nada se opõe a que a Terra se mova, e dado que os planetas ora se aproximam da Terra, ora se afastam dela, em movimentos aparentemente não uniformes, impossíveis de explicar com círculos concêntricos com a Terra; por que não duvidar que o centro do Universo seja o centro de gravidade terrestre? Porque não supor que a Terra possa ser dotada de outros movimentos, além da rotação diária?

Assim o fez Copérnico, que em seu sistema deslocou a Terra da posição central e a dotou de dois movimentos anuais e um movimento diário.

A tese de que a Terra não é o centro ao qual a ordem dos planetas e das esferas celestes se referem é reforçada por Copérnico quando ele analisa a ordem das esferas celestes, determinada pelos antigos filósofos de acordo com a duração das suas revoluções⁽⁹¹⁾ e segundo a qual os planetas mais distantes são os que demoram mais tempo para percorrer o zodíaco.

(91) Estas determinações foram feitas supondo que "tal como demonstra Euclides na sua Optica, entre uma série de corpos com igual velocidade os que estão mais distantes parecem mover-se mais lentamente" (Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. X, Livro Primeiro).

Nestas antigas determinações existe uma certa controvérsia com respeito às posições ocupadas por Venus e Mercúrio, pois o tempo médio de percurso do zodíaco por estes planetas é próximo ao tempo de percurso do Sol. Alguns os colocavam acima do Sol, como o Timaeus (38 D) de Platão; outras abaixo dele, como Ptolomeu (Almagesto, IX, 1).

Copérnico, por sua vez, considera que aqueles que põem Venus abaixo do Sol e logo a seguir Mercúrio, ou os separam do Sol em qualquer outra seqüência, não podem explicar, "ainda sob o suposto de que a relação entre as velocidades dos planetas não falseie a ordem aceita, porque Venus e Mercúrio não seguem órbitas independentes, e distintas do Sol, tal qual os outros planetas?"⁽⁹²⁾.

Diante disso, conclui Copérnico, ou a Terra não é o centro de suas esferas ou então será necessário que "não haja um princípio de ordenação nem razão possível para se dar a Saturno e não a Júpiter ou a qualquer outro planeta uma posição superior"⁽⁹³⁾.

Porém, se continuarmos admitindo, como o fizeram os antigos, ser a extensão do tempo a medida do tamanho das esferas, e se considerarmos, como pensou Copérnico, ser mais fácil admitir que o centro das esferas planetárias está próximo do Sol, que por sua vez permanece imóvel, "do que confundir o espírito com uma multiplicidade quase infinita de

(92) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. X, Livro Primeiro.

(93) idem

esferas, como foram levados a fazer os que afirmaram estar a Terra no centro do Universo"⁽⁹⁴⁾, teremos que a ordem das esferas celestes é a seguinte, começando da mais alta:

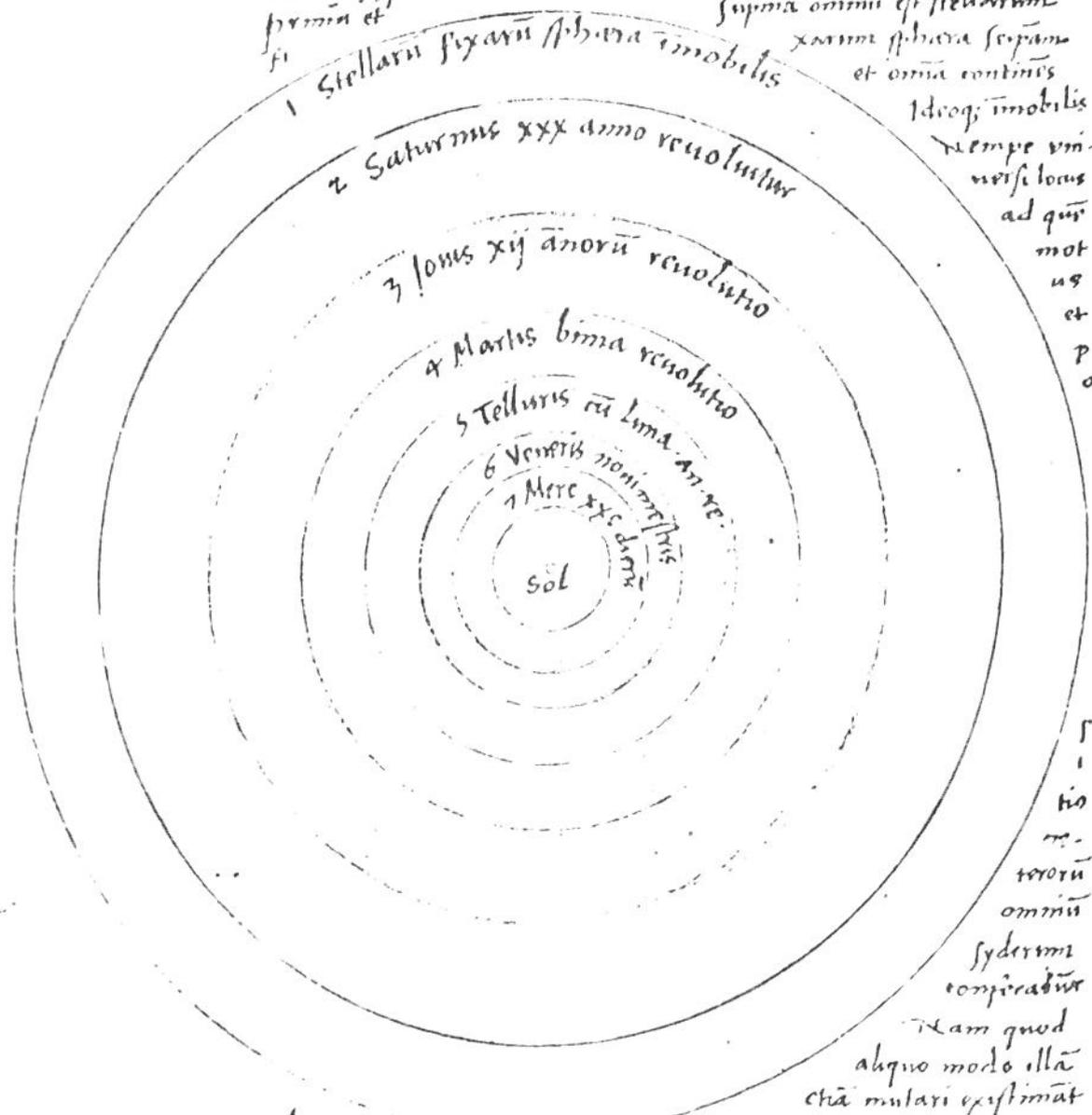
"A primeira e mais alta de todas é a esfera das estrelas fixas que se contém a si própria e a todas as coisas, sendo portanto imóvel. É nela que se situa o Universo, ao qual se referem o movimento e a posição de todos os astros restantes. (...). Segue-se depois Saturno, o primeiro dos planetas, que percorre a sua órbita em 30 anos. A seguir vem Júpiter que completa sua revolução em 12 anos e Marte em dois anos. A revolução anual ocupa a quarta posição; nela dissemos que está a Terra junto com a esfera lunar como um epiciclo. Em quinto lugar Vênus realiza o seu percurso em nove meses. Por fim, Mercúrio está na sexta posição completando o seu circuito em oitenta dias. No meio de todas encontra-se o Sol"⁽⁹⁵⁾ (ver Figura II).

O centro das orbes celestes está próximo do Sol e, permanecendo este imóvel, todo movimento que aparece como seu é na realidade devido ao movimento da Terra. E embora o movimento solar tenha sido transformado em terrestre, o nascimento e acaso dos signos do Zodíaco e das estrelas fixas matutina e vespertina aparecerão da mesma forma. Também os movimentos aparentemente irregulares, retrogradações e progressões dos planetas tem sua origem no movimento da Terra (ver: De Revolutionibus ..., cap. IX, Livro I).

(94) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. X, Livro Primeiro.

(95) idem

ratione salua manente, nemo em̄ conuenientiore allegabit
 q̄ ut magnitudinē orbium multitudine ip̄s intuetur, ordo sphae-
 rarum sequitur in hunc modū: a summo capientes viciniam.
 prima et
 sup̄ma omnium est Stellarum
 xxiij sphaera sc̄p̄am
 et omnia continēs



Ideoq; immobilis
 tempore vni-
 uersi locus
 ad quē
 motus
 us
 et
 p
 o

si
 i
 ho
 m-
 teroru
 omnium
 syderum
 conspirabunt

aliqui:
 in diductione motus terrestis assignabimus causam. Secūtu
 orantem primus Saturnus: qui xxx anno suū complet circuitu
 itū post hunc Iupiter duodecimā h̄ revolutionē mobilis demit
 Mars vobis qui biennio circuit. Quartū in ordine anna revolu-
 tio locum optinet: in quo terra cum orbe Lunari tamq; epicyclo
 contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense rediētur

Figura II - Extraída do: Copernici, Nicolai, Opus De Revolutionibus Caelestibus, Manu Propria, Anno MDXLIII, Faksimile-Wiedergabe; Cap. X, Livro Primeiro.

Porém para explicar todos os movimentos celestes será necessário admitir que o movimento da Terra é um movimento tríplice. "O primeiro (afirma Copérnico) é aquele que, como dissemos, os gregos chamavam nuchthemeron (I,4), a rotação à volta do eixo da Terra, que é característica do dia e da noite, de Oeste para Leste, deslocando-se o Universo de Leste para Oeste, segundo parece. Descreve assim o equador o que alguns chamam 'o círculo dos dias iguais' (...). O segundo é o movimento anual do centro, que descreve o círculo do zodíaco, ao redor do Sol, também de Oeste para Leste, isto é, na direção dos signos que seguem (de Aries a Touro) e move-se entre Venus e Marte, como dissemos (I,10), juntamente com o que lhe está associado. Assim o Sol parece atravessar a eclíptica com um movimento semelhante (...). Deve-se notar que o equador e o eixo da Terra têm uma inclinação variável relativamente ao círculo que é a linha média do zodíaco (eclíptica) e o seu plano. Realmente, se eles permanecessem sempre com mesma inclinação e seguissem exatamente o movimento do centro, não deveria haver nenhuma desigualdade de dias e noites mas, pelo contrário, o solstício do verão ou do inverno ou os equinócios, ou o verão ou o inverno, ou algumas outras estações do ano permaneceriam sempre sem mudança".

"Segue então um terceiro movimento em inclinação. É também uma revolução anual mas em sentido oposto à ordem dos signos (de Aries a Peixes) ou para Oeste, isto é, na direção oposta à do centro. Sendo estes movimentos quase iguais no período, mas em direção contrária, o resultado é que o eixo da Terra e o maior dos círculos paralelos de latitude, o

Equador, correspondem quase à mesma porção do Céu, como se estivessem imóveis. Entretanto o Sol parece mover-se na obliquidade da eclíptica com o movimento do centro da Terra, como se este fosse o centro do Universo, sem esquecer que em relação à esfera das estrelas fixas a distância entre o Sol e a Terra desaparece de nossas vistas imediatamente"⁽⁹⁶⁾.

Porém, embora o período da rotação do centro seja praticamente igual ao do movimento da inclinação — a saber: um ano — eles não são absolutamente iguais. Por essa razão os pontos dos equinócios, dos solstícios e a obliquidade da eclíptica sofrem um certo desvio em relação à esfera das estrelas fixas. "Como, porém, a diferença é ligeira, só se tornou notada à medida que cresceu com o tempo. Na verdade, desde Ptolomeu até o nosso tempo a precessão dos equinócios atinge quase 21^o"⁽⁹⁷⁾.

Uma vez expostos resumidamente, no Livro Primeiro, os três movimentos da Terra com os quais Copérnico pretende explicar todos os fenômenos celestes, inicia-se a segunda parte do De Revolutionibus ..., onde cada ponto particular do novo sistema será examinado e investigado.

(96) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. XI, Livro Primeiro.

Devemos notar que dando à Terra três movimentos naturais Copérnico está se opondo a tese aristotélica segundo a qual cada corpo elementar deve ter um único movimento natural. Sobre outros detalhes sobre o movimento tríplice da Terra ver item 4 do apêndice técnico desta tese.

(97) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. XI, Livro Primeiro.

No Livro Segundo, ele começa examinando a revolução mais conhecida de todas, que se completa em um dia e uma noite. Também neste Livro Segundo são descritas as constelações das estrelas fixas.

O Livro Terceiro é dedicado à revolução anual da Terra e aos fenômenos que podem ser explicados pelo movimento desta, como por exemplo a precessão dos equinócios.

A precessão pode ser notada através de uma cuidadosa observação da duração do ano, pois o ano medido em relação às estrelas fixas (tempo necessário para o Sol completar sua trajetória ao longo da eclíptica) é mais longo do que o medido pelos equinócios e solstícios (tempo necessário para o Sol transladar-se, sobre a eclíptica, de um equinócio de primavera ao seguinte equinócio de primavera).

Para explicar este fenômeno alguns julgaram que a esfera das estrelas fixas tinha algum movimento na direção Leste, embora muito lento e não facilmente perceptível, e dotaram o Universo de mais uma esfera, a nona, outros de uma décima. Agora, afirma Copérnico, "começou a ver a luz uma undécima esfera também. Eu, porém, invocando o movimento da Terra, refutarei com facilidade este número de esferas, que é superfluo. Efetivamente, segundo o que já em parte estabelecemos no Livro Primeiro, as duas revoluções, isto é, a inclinação anual e a revolução do centro da Terra, não são exatamente iguais, pois a inclinação se completa naturalmente um pouco antes da revolução do centro da Terra".

"Donde é necessário concluir que os equinócios e solstícios parecem antecipar o seu movimento não porque a es

fera das estrelas se move para Leste mas porque o equador se move para Oeste, sendo oblíquo ao plano da eclíptica proporcionalmente à inclinação do eixo do globo terrestre"⁽⁹³⁾.

Porém os equinócios e solstícios, além de variarem, variam em ritmo desigual. Uma mudança variável também é observada na obliquidade da eclíptica. A explicação desses movimentos não uniformes é dada no cap. V do Livro III.

Em seguida Copérnico passa a analisar os movimentos de todos os planetas. Começa pelo movimento da Lua, no Livro Quarto. O movimento dos cinco planetas restantes é analisado no Livro Quinto, onde Copérnico se propõe a provar todas as afirmações feitas no Livro Primeiro, mostrando que os centros das esferas destes planetas não estão próximos da Terra mas sim, perto do Sol.

Copérnico inicia o sexto e último Livro afirmando que: "indicamos o melhor que nos foi possível como a revolução da Terra, que defendemos, influencia e afeta o movimento aparente dos planetas em longitude, e como faz com que todos estes fenômenos se revistam de uma regularidade precisa e necessária. Resta-nos dedicar nossa atenção (o que será feito neste Livro Sexto) aos movimentos que provocam nos planetas um desvio em latitude e mostrar como o movimento da Terra também exerce a sua influência sobre estes fenômenos e lhes prescreve regras nesta divisão"⁽⁹⁹⁾.

(98) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., cap. I, Livro Terceiro.

(99) Copérnico, N., De Revolutionibus ..., Introdução, Livro Sexto.

Embora Copérnico no seu De Revolutionibus Orbium Coelestium tenha apresentado uma teoria planetária completamente nova, iniciando assim uma revolução na astronomia, de um modo geral procura explicar a rotação da Terra em termos da doutrina aristotélica do movimento e dos elementos (é bem verdade que usando os princípios da Física Aristotélica a seu favor). Como afirma Richard Westfall, Copérnico propôs "uma reformulação limitada na teoria planetária dentro das linhas gerais da estrutura aceita da ciência aristotélica"⁽¹⁰⁰⁾.

Porém, embora Copérnico não chegue a assumir um rompimento com a física aristotélica, sua teoria astronômica necessita de uma nova física.

Assim podemos dizer que Copérnico iniciou uma revolução, porém esta tinha que ser completada, Johannes Kepler (1571-1630) e Galileo Galilei (1564-1642), como afirma Westfall - e eu acrescentaria Giordano Bruno (1548-1600) - foram os primeiros agentes a assegurá-la. Eles "devotaram suas carreiras para confirmar a revolução da teoria astronômica que ele (Copérnico) tinha iniciado. Para sua confirmação cada um deu uma contribuição essencial, embora em suas contribuições cada um tenha modificado o copernicanismo de um modo que o mes

(100) Westfall, R.S., The Construction of Modern Science (1971), (Cambridge: Cambridge University Press, 5^a ed., 1981), p. 3.

tre não poderia aceitar"⁽¹⁰¹⁾.

Eles transformaram uma reformulação limitada ao campo da astronomia em uma revolução radical, rompendo definitivamente com o aristotelismo.

(101) idem, p. 3.

Embora Westfall esteja se referindo apenas a Kepler e Galileo, creio que sua afirmação pode ser estendida a Bruno, cujo copernicanismo também correspondia a uma modificação do sistema copernicano que dificilmente o próprio Copérnico teria aceito.

APÊNDICE TÉCNICO

1) Movimentos celestes

1a) Movimento aparente da esfera das estrelas fixas

Embora as posições relativas das estrelas sejam aparentemente invariáveis, bem como das constelações que elas compõem, vistas da Terra as estrelas são arrastadas como um todo pelo movimento geral do Céu, cuja velocidade é por volta de 15° por hora, completando portanto uma volta de 360° no final de 24h no sentido anti-horário, "atrasando-se" pouco menos de 1° por dia no sentido horário, em torno do eixo celeste Norte-Sul.

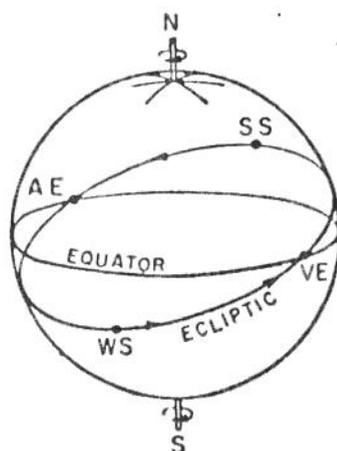


Figura 1 - (figura extraída do livro "The Copernican Revolution" de T. Kuhn, p. 34).

Excetuando-se o fenômeno da precessão dos equinócios, que só é observável em longos intervalos de tempo, os pontos da esfera das estrelas cortadas pelo eixo celeste N-S ocupam sempre a mesma posição fixa e são denominados polos celestes.

1b) Movimento aparente do Sol

O movimento aparente do Sol é a composição de dois movimentos: o movimento diurno (movimento de rotação para oeste no sentido anti-horário, seguindo o movimento da esfera das estrelas) e um movimento lento oposto, simultâneo ao anterior (movimento para leste, no sentido horário) ao longo de uma curva denominada eclíptica, que corresponde ao movimento anual do Sol.

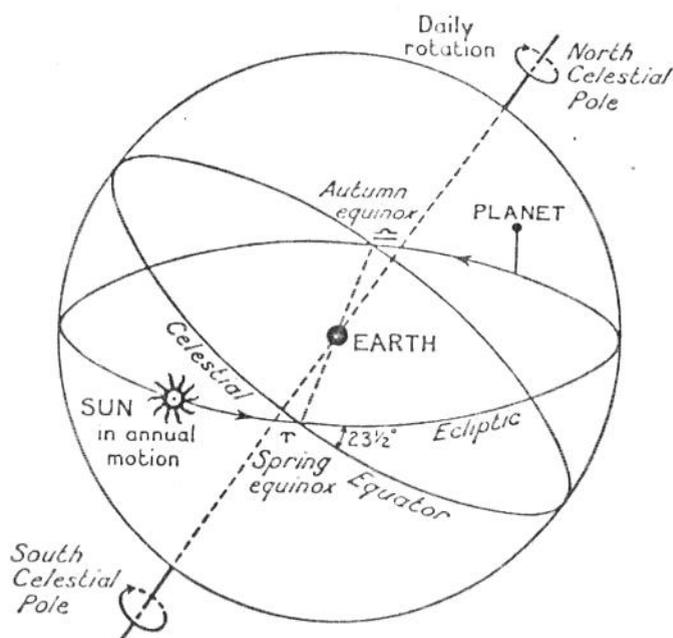


Figura 2 - (figura extraída do livro "Augustine to Galileo" de A.C. Crombie, p. 105).

Se, diariamente no transcorrer de um ano, marcarmos, sobre um mapa celeste, as posições ocupadas pelo Sol no momento de se pôr e unirmos tais pontos obteremos uma curva regular, cuja forma é de um círculo um pouco deformado e consideravelmente descentralizado em relação ao pólo celeste, que se encerrará sobre si mesma. Esta é a curva denominada *eclíptica*.

O Sol ocupa sempre algum ponto da eclíptica, já que o movimento anual é sobre a eclíptica, e esta é arrastada rapidamente através do Céu pelo movimento diário normal do sistema estelar. Assim sendo o Sol se comporta como uma estrela que se encontra sobre um determinado ponto da eclíptica e que portanto se desloca junto com o conjunto do Céu, porém ele, além deste movimento, se desloca lentamente ao redor da eclíptica ocupando uma posição diferente em cada época do ano.

1c) Movimento aparente dos planetas

Todos os planetas gozam, assim como o Sol, de um movimento diurno aparente para o Oeste, arrastados pelo movimento do Céu, e simultaneamente se deslocam lentamente para Leste, até retornarem aproximadamente a sua posição de origem.

Além deste movimento normal, os planetas, exceto o Sol e a Lua, durante alguns breves intervalos de tempo substituem o movimento para leste por um movimento de retrocesso para Oeste. Este retrocesso se dá da seguinte maneira: cada

um dos cinco planetas - Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno - se desloca em seu movimento normal para Leste, porém todos e cada um deles momentaneamente começam a perder velocidade de forma gradual até que chegue um momento em que a direção de seu movimento se inverte, retrocedendo a partir daí para Oeste, e em seguida retomando seu movimento normal para Leste. Os retrocessos tem uma forma e duração muito similares, porém nem sempre se produzem na mesma data nem dentro do mesmo setor do Céu. Este movimento é denominado *movimento retrógrado*.

As observações dos movimentos, descritos acima eram bastante conhecidas na antiguidade, e constituíram parte essencial da análise dos astrônomos antigos sobre a estrutura do Universo.

2) Sistema de epiciclo e deferente

Na sua forma mais simplificada, o sistema epiciclo-

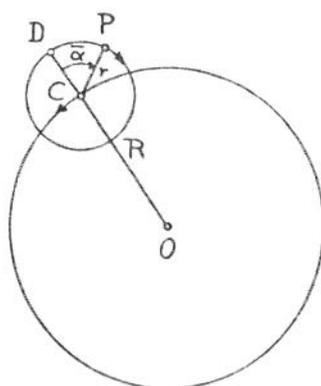


Figura 3 - Sistema de epiciclo e deferente, onde: P é um planeta qualquer, C é o centro do epiciclo, r raio do epiciclo ($< R$), círculo de raio $R = OC$ é o deferente. (extraído do Neugebauer, O., A History of Ancient Mathematical Astronomy, vol. III, p. 1220, fig. 50).

deferente é composto por um pequeno círculo, o epí ciclo, que gira uniformemente ao redor de um ponto situado sobre a circunferência de um segundo círculo em rotação, o deferente.

A partir desta estrutura básica de deferente e epí ciclo, várias combinações de círculos eram possíveis. Afim de dar conta das posições observadas dos planetas, os astrônomos ptolomaicos combinavam círculos excêntricos e epí ciclos a um deferente básico.

Os vários artifícios geométricos, utilizados pela astronomia ptolomaica são apresentados na Figura 4, onde podemos notar a existência de dois tipos de epí ciclos: epí ciclos e epí ciclos secundários, denominados por T. Kuhn, no livro "The Copernican Revolution", de epí ciclos maiores e epí ciclos menores respectivamente. Alguns outros autores também utilizam esta nomenclatura, por exemplo, Richard Westfall, no livro *The Construction of Modern Science - Mechanisms and Mechanics*, (Cambridge, Cambridge University Press).

2a) Epí ciclos (Epí ciclos maiores)

Este tipo de dispositivo geométrico (Figura 4a) já era conhecido por Apollonios, no século III A.C., e era empregado para explicar as grandes irregularidades planetárias - movimento retrógrado, variação do brilho dos planetas, desigualdades entre os períodos de tempo necessários para sucessivas trajetórias ao longo da eclíptica. Ou seja os epí ciclos (maiores) eram empregados para explicar a variação qualitativa do movimento dos planetas.

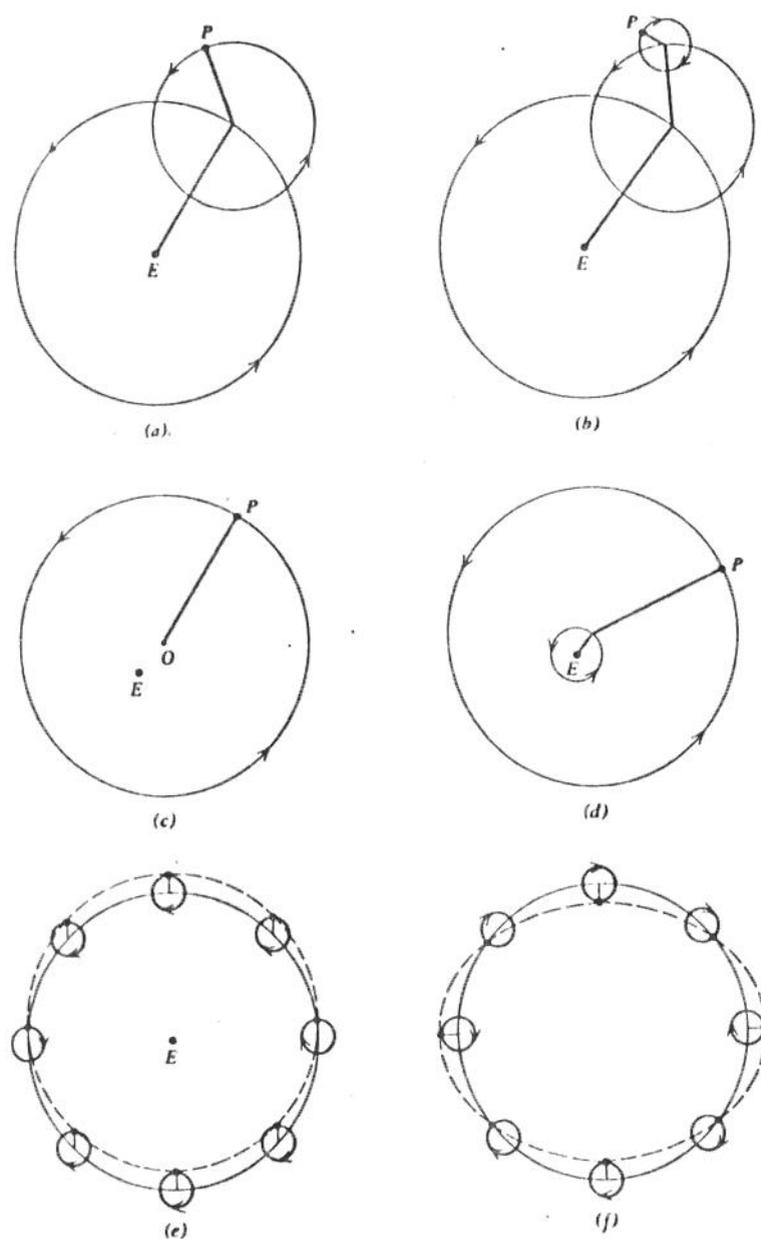


Figura 4 - Os artifícios geométricos da astronomia ptolomaica. a) um epiciclo maior associado a um deferente, b) um epiciclo sobre um epiciclo maior, c) um excêntrico, d) um excêntrico sobre um deferente, e) o efeito de um epiciclo menor com um mesmo período daquele do deferente, f) o efeito de um epiciclo menor com um período duas vezes daquele do deferente.

(figura extraída do livro The Construction of Modern Science, de R.S. Westfall, p. 7).

2b) Epíclis secundários (Epíclis menores)

Os epíclis secundários foram introduzidos por Hipparchos com a finalidade de oferecer pequenos ajustes quantitativos entre a teoria e a observação, eles não produzem variação qualitativa nos movimentos planetários.

Como podemos notar das Figuras 4e e 4f, eles são pequenos círculos complementares associados a um deferente.

Um exemplo do uso dos epíclis secundários foi aquele feito por Hipparchos com a finalidade de proporcionar uma avaliação quantitativa das irregularidades do movimento do Sol e da Lua.

O movimento do Sol poderia ser reproduzido com a ajuda de um só deferente centrado na Terra, se não fosse por algumas irregularidades (como por exemplo o fato de que o Sol emprega seis dias a mais para passar do equinócio de primavera ao equinócio de outono que para regressar desde o equinócio de outono ao equinócio de primavera, em ambos os casos o Sol percorre 180° , uma vez que se está supondo que ele percorre um só deferente, logo ele deveria demorar tempos iguais).

Para dar conta desta pequena discrepância quantitativa, Hipparchos mostrou que se poderia usar o epíclis secundário combinado com um deferente, o que acarretaria um deslocamento da trajetória do Sol, como mostra a figura a seguir.

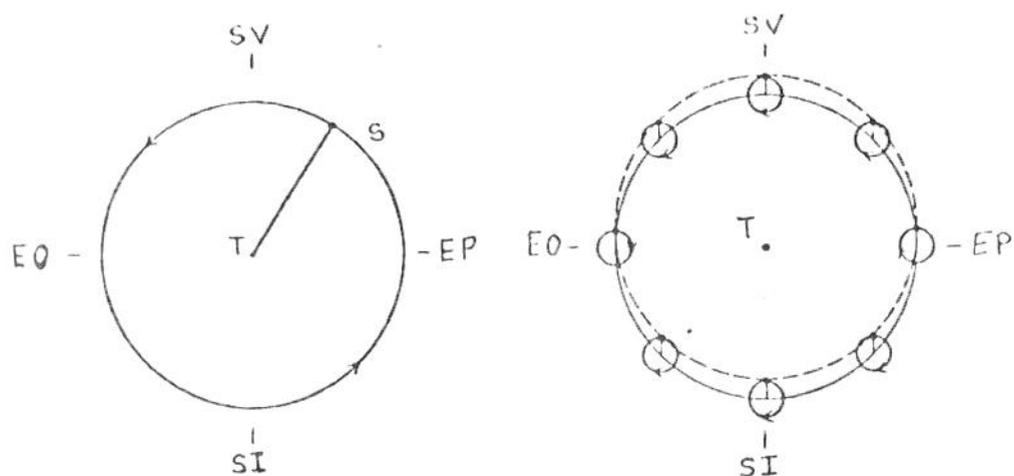


Figura 5 - Uso dos epiciclos secundários para explicar o movimento aparente do Sol.

Uma vez que o caminho para ir do equinócio de primavera ao equinócio de outono é maior do que o caminho de volta, do equinócio de outono para o de primavera, o Sol necessitará de mais tempo para percorrer ida do que a volta.

3) Os Equantes

Os equantes são dispositivos introduzidos por Ptolomeu segundo os quais a uniformidade do movimento de qualquer um dos planetas não necessariamente deve referir-se ao centro do círculo em que ele se move (ou melhor, a uniformidade do movimento do centro do epiciclo, ao longo do qual se move o planeta em questão não necessariamente deve referir-se ao centro geométrico do seu deferente, nem da Terra) mas sim a um terceiro ponto denominado equante.

Devemos notar, como o fez Neugebauer, que "o termo 'equante' não ocorre em Ptolomeu, ele usa somente expressões como 'centro para o excêntrico que produz o movimento uniforme' ou circunlocuções similares" (Neugebauer, O., A History

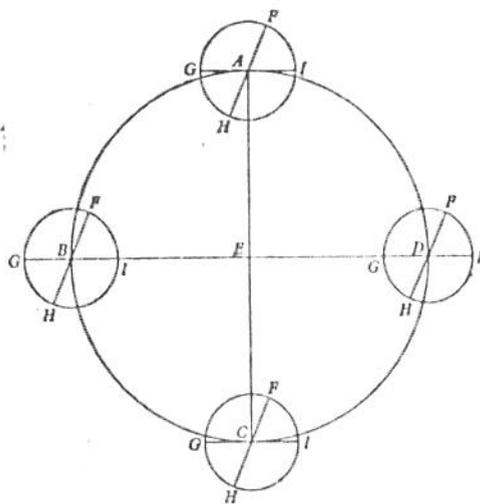
of Ancient Mathematical Astronomy, vol. III, p. 1102).

4) Os movimentos da Terra, postulados por Copérnico

O movimento da Terra é, segundo Copérnico um movimento tríplice; o primeiro é a rotação axial de Oeste para Leste, que caracteriza o dia e a noite; o segundo é o movimento anual do centro que descreve a eclíptica ao redor de um ponto próximo do Sol, também de Oeste para Leste; e o terceiro é um movimento anual em inclinação de Leste para Oeste.

"Dado que estes assuntos exigem que os ponhamos mais diante dos olhos do que meramente falemos acerca deles, deixe-nos (afirma Copérnico) desenhar o círculo ABCD, que representará o circuito anual do centro da Terra no plano da eclíptica, e deixe E ser o Sol, próximo do centro. Eu dividirei este círculo em quatro partes iguais, por meio dos diâmetros AEB e BED. Deixe o ponto A ser o começo de Câncer; B o de Libra; C o de Capricórnio; e D o de Áries. Agora deixe-nos colocar o centro da Terra primeiro em A, em torno do qual nós descreveremos o equador terrestre FGHI, mas não no mesmo plano (da eclíptica), ressaltando apenas que o diâmetro GAI é a intersecção dos círculos, isto é, do equador e da eclíptica. Traçemos depois o diâmetro FAH perpendicularmente a GAI e seja F o limite da maior inclinação (do equador) para o Sul e H para o Norte. Partindo destes pressupostos, os habitantes da Terra verão o Sol no centro E, no seu solstício de Inverno, em Capricórnio. Deve-se isto ao fato de que

a inclinação máxima setentrional está voltada para o Sol. Com efeito a inclinação do equador para AE assinala, na rotação diária, o solstício do Inverno, paralelo ao equador num intervalo a que corresponde ao ângulo de EAH. Agora façamos o centro da Terra mover-se na ordem dos signos e seja F, o limite da máxima inclinação, movendo-se de um arco igual mas em sentido inverso à ordem dos signos, até que ambos tenham



atravessado um quadrante dos seus círculos até o ponto B. Entretanto, seja o ângulo EAI sempre igual a AEB, devido à igualdade das suas revoluções. Seja o diâmetro FAH paralelo a FBH, e GAI a GBH, equador paralelo e equador. Pela razão já muitas vezes apresentada parecem coincidir na imensidade do Céu. Assim de B, princípio da Libra, E parecerá estar no Áries e a linha de intersecção dos círculos ficará na linha reta GBHE, à qual a rotação diária não permitirá qualquer inclinação, pois toda a inclinação será no plano lateral. Assim veremos, o Sol no seu equinócio da Primavera. Suponhamos que o centro da Terra se move nas condições que

indicamos. Quando tiver completado um semicírculo em C, o Sol parecerá entrar em Câncer. Mas F, o ponto mais ao Sul da inclinação do equador ficará voltado para o Sol e assim fará com que o Sol pareça seguir pelo solstício do Verão, medido pelo ângulo da obliquidade, ECF. Então, quando F voltar para o terceiro quadrante do círculo, a linha da interseção GI cairá, uma vez mais, em ED. Daqui ver-se-á o Sol em Libra, tendo alcançado o equinócio do Outono. Finalmente, pelo mesmo processo, HF girará gradualmente na direção do Sol e repetir-se-á a situação pela qual começamos a nossa exposição" (Copérnico, N., De Revolutionibus..., cap. XI, Livro Primeiro).

Resumindo, Copérnico afirma que quando, por exemplo, o centro da Terra passa por Capricórnio, o Sol aparece nos passando através de Câncer, e com a Terra em Libra, o Sol parece-nos em Áries, e assim por diante. Para tornar isto mais claro vamos nos valer de um diagrama proposto por Thomas Kuhn, no *The Copernican Revolution* (cap.

"Admitamos provisoriamente que, tal como se representa na figura 6, os centros do Universo, do Sol e da órbita terrestre coincidem em um mesmo ponto. Neste diagrama o plano da eclíptica é visto desde uma posição próxima ao polo norte celeste; a Terra se desloca com regularidade até o Leste ao longo de sua órbita e completa sua revolução em um ano, enquanto que simultaneamente efetua um giro completo ao redor de seu eixo, também na direção Leste, a cada 23 horas e 56 min. Sendo a órbita da Terra muito menor que a esfera das estrelas, a rotação axial da Terra pode explicar com toda exatidão as trajetórias cotidianas do Sol, Lua, planetas e

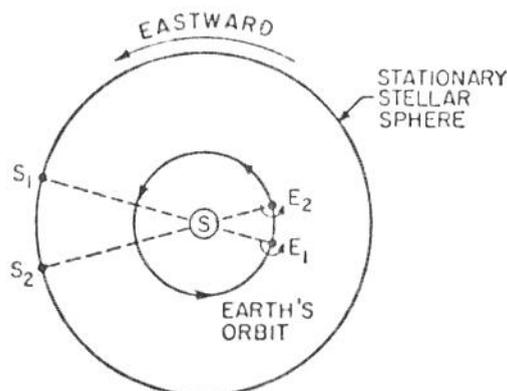


Figura 6 - "Quando a Terra se desloca de T_1 a T_2 ao longo de sua órbita copernicana, a posição aparente do Sol sobre a esfera das estrelas passa de S_1 a S_2 ". (apud, Kuhn, T., The Copernican Revolution, p. 160).

estrelas, já que desde qualquer ponto da órbita terrestre todos os corpos indicados devem ver-se sobre o fundo estelar e parecer que se movem com ela quando a Terra gira sobre si mesma.

No presente diagrama a Terra aparece em duas posições orbitais que ocupa com um intervalo de trinta dias. Em uma e outra as posições aparentes do Sol sobre o fundo da esfera das estrelas devem estar situadas sobre a eclíptica, definida agora como a linha de intersecção entre a esfera das estrelas e o plano sobre o qual tem lugar o movimento da Terra (plano que contém ao Sol). Quando a Terra se desloca em direção a Leste da posição T_1 a posição T_2 , o Sol se transla da aparentemente ao longo da eclíptica também na direção Leste e desde a posição S_1 para a posição S_2 . Assim a teoria de Copérnico prevê exatamente o mesmo movimento anual do Sol na direção Leste sobre a eclíptica que o da teoria de Ptolomeu"

(The Copernican Revolution, cap. , pp. 217-218).

Copérnico afirmou, também, como vimos, que enquanto o centro da Terra se desloca, ao longo de uma trajetória circular, ao redor do Sol, seu eixo permanece constantemente paralelo a si mesmo.

A este respeito afirma Kuhn: Copérnico descreve este movimento físico como o resultado de dois movimentos matemáticos simultâneos, além do primeiro movimento físico, o de rotação axial.

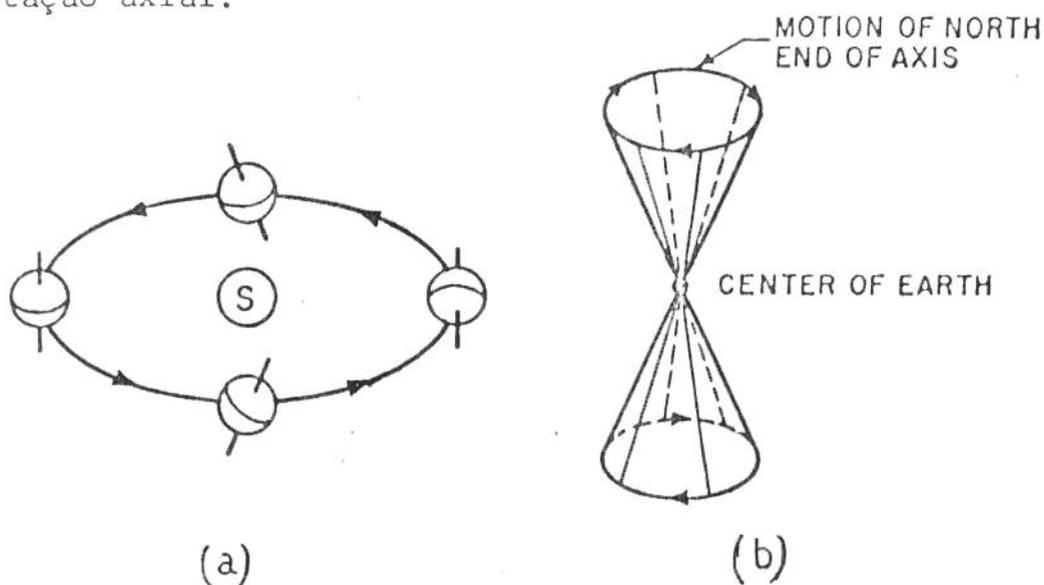


Figura 7 - "O 'segundo' e 'terceiro' movimento de Copérnico. O diagrama (a) nos mostra o segundo movimento copernicano, o de um planeta fixado a uma esfera em rotação com centro no Sol. Este movimento não mantém o eixo terrestre paralelo a si mesmo, de tal forma que se faz necessário recorrer a um terceiro movimento cônico; (b) que obrigue o eixo a manter-se na direção adequada". (apud, Kuhn, T., The Copernican Revolution, p.164).

Aqui, segundo Kuhn, as argumentações que Copérnico emprega na descrição do segundo e terceiro movimento "nos

oferece outro significativo exemplo de até que ponto seu pensamento se encontrava vinculado com as estruturas tradicionais do aristotelismo. Para Copérnico, a Terra é um planeta transportado ao redor do Sol central por uma esfera exatamente similar à que até então se havia usado para arrastar o Sol ao redor da Terra. Supondo que a Terra estivesse fixada solidamente a uma esfera, seu eixo não poderia permanecer constantemente paralelo a uma linha que atravessa o Sol, senão que a rotação daquela a levaria a ocupar as diferentes posições que se mostram na Figura 7a. Depois de um giro de 180° ao redor do Sol, o eixo terrestre seguiria mantendo uma inclinação de 23° e meio com respeito à perpendicular ao plano da eclíptica, ainda que agora em uma direção simétrica da que tinha ao iniciar o recorrido. Para anular tal mudança na direção do eixo provocado pela rotação da esfera que arrasta a Terra, Copérnico necessita introduzir um terceiro movimento circular, aplicando-o desta vez ao eixo terrestre de forma exclusiva. A Figura 7b nos mostra uma representação esquemática deste terceiro movimento, um movimento cônico que faz girar o extremo Norte do eixo uma revolução anual até o Oeste com o fim de compensar exatamente os efeitos do movimento orbital sobre o eixo terrestre" (Kuhn, T., The Copernican Revolution, cap. , pp. 221-222).

Porém, embora o movimento em inclinação do eixo da Terra tenha um período praticamente igual ao do movimento de rotação do centro ao redor do Sol, eles ^{NÃO} são exatamente iguais, pois a inclinação se completa um pouco antes do que a revolução do centro da Terra.

Se, afirma Copérnico "o movimento do eixo da Terra

concordasse, simplesmente e com exatidão, com o movimento do seu centro, pareceria, como disse (I, 11), que não havia qualquer precessão dos equinócios e solstícios (tal como é observado)" (Copérnico, N., De Revolutionibus..., cap. III, Livro III).

PARTE II

A REVOLUÇÃO GALILEANA

INTRODUÇÃO

Pretendemos, na segunda parte desta tese, analisar o desenvolvimento da ciência de Galileo Galilei e sua metodologia, visando compreender a inserção da Revolução Galileana na história do pensamento científico e filosófico dos séculos XVI e XVII.

A leitura histórica será feita informada por estudos epistemológicos, notadamente os de Paul K. Feyerabend. Este desenvolve uma crítica a todas as metodologias, em especial ao empirismo lógico e racionalismo crítico de Popper, no sentido de negar a prevalência de qualquer um dos métodos científicos associados a estas abordagens filosóficas, como constitutivos do trabalho dos cientistas.

Segundo Feyerabend, "para onde quer que olhemos, sejam quais forem os exemplos por nós considerados, verificamos que os princípios do racionalismo crítico (tomar os falsamentos a sério, aumentar o conteúdo, evitar hipóteses ad hoc, ser honesto - signifique isto o que significar e assim por diante) e, a fortiori, os princípios do empirismo lógico (ser preciso, apoiar as teorias em medições, evitar idéias

vagas e imprecisas e assim por diante) proporcionam inadequada explicação do passado desenvolvimento da ciência e são suscetíveis de prejudicar-lhe o desenvolvimento futuro"⁽¹⁾.

Para sustentar sua posição Feyerabend apresenta inúmeros exemplos históricos, dando particular ênfase à forma como Galileo desenvolveu suas teorias.

De acordo com a leitura feyerabendiana, "Galileo convencido da verdade da doutrina copernicana e sem acompanhar a comum, mas não universal, crença em uma experiência assentada, buscou novos tipos de fatos, suscetíveis de dar apoio a Copérnico, mas que fossem de aceitação geral. Reuniu esses fatos procedendo de duas diferentes maneiras. Em primeiro lugar, com o invento do telescópio, que alterou o núcleo sensorial da experiência cotidiana, colocando em seu lugar fenômenos perturbadores e não explicados; em segundo lugar, com o estabelecimento de seu princípio da relatividade (de acordo com o qual nossos sentidos só notam o movimento relativo, permanecendo inteiramente insensíveis a movimentos que os objetos tenham em comum) e sua dinâmica, que alteram os componentes conceituais da mesma experiência. Nem os fenômenos telescópicos, nem as novas idéias de movimento eram aceitáveis ao ver do senso comum (ou dos aristotélicos). Além disso era possível demonstrar, facilmente, serem falsas as teorias associadas às posições de Galileo. E, não obstante, essas teorias falsas e esses fenômenos inaceitáveis são distorcidos por Galileo e transformados em forte apoio à teoria

(1) Feyerabend, P.K., Against method (Londres: N.L.B; 1975), cap. XV, p.

de Copérnico"⁽²⁾.

A nova mecânica, proposta por Galileo, introduz também princípios novos e incomuns tais como uma versão aproximada da lei da inércia.

Assim, segundo Feyerabend, Galileo, movido pela convicção de que a cosmologia copernicana era correta, construiu novos tipos de instrumentos e relacionou as evidências com novas teorias - desenvolvidas a partir de convicções tão desarrazoadas quanto a primeira, como é o caso da lei da inércia.

Galileo, conclui Feyerabend, "levou teorias refutadas a se ampararem mutuamente; ... dessa maneira construiu uma nova concepção do mundo, frouxamente (se é frouxamente) relacionada com a cosmologia anterior (aí incluída a experiência cotidiana), que estabeleceu falsas conexões que só agora passam a ser substituídas por genuínas teorias (ótica fisiológica, teoria dos contínuos); e, ... em todas as situações que o admitiam, substituiu velhos fatos por um novo tipo de experiência, simplesmente inventado com o propósito de dar apoio a Copérnico"⁽³⁾.

A partir da análise desse, e de outros, exemplos históricos, Feyerabend conclui, que, "mesmo no campo da ciência, não se deve e não se pode permitir que a razão seja exclusiva, devendo ela, freqüentes vezes ser posta de parte ou eliminada em prol de outras entidades"⁽⁴⁾.

(2) Feyerabend, P.K., Against method, cap. XV, p.

(3) Feyerabend, P.K., Against method, cap. XV, p.

(4) idem

A leitura historiográfica, da ciência de Galileo Galilei por Feyerabend, particularmente no que diz respeito à invenção do telescópio, a extrapolação do seu uso para o Céu, aos problemas dos dados celestes, e ao desenvolvimento da sua nova mecânica, é contestada por Peter Machamer, assim como a análise epistemológica derivada deste longo estudo de caso.

Machamer considera que muito da persuasão do estudo de Feyerabend deriva do seu abundante uso de citações de trabalhos de Galileo, particularmente do *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo, Tolemaico, e Copernicano*. "Mas (afirma Machamer) apesar do uso de citações ser abundante, não é sem preconceito. É este preconceito que torna Galileo um Feyerabendiano de uma forma completa e impenitente. Ao discutir um ponto, Feyerabend continuamente ou ignora outras passagens relevantes, ou cita somente aquela parte da passagem que sustenta seu ponto de vista de um modo aparentemente inequívoco"⁽⁵⁾.

Assim, a fim de estabelecer a incorreção do relato historiográfico de Feyerabend - e, conseqüentemente, da análise epistemológica dele derivada - Machamer analisa os dois aspectos do trabalho de Galileo sobre os quais, a seu ver, Feyerabend sustenta que a metodologia da ciência é, e deve ser, *Anything goes*.

(5) Machamer, P., Feyerabend and Galileo: The Interaction of Theories, and the Reinterpretation of Experience, *Studies in History and Philosophy of Science*, 4 (1973, nº 1, p. 1).

Estes dois aspectos são: o trabalho telescópico de Galileo, o qual ele usa para responder as objeções astronômicas ao movimento da Terra; e a nova mecânica de Galileo, que foi tomada como resposta às objeções mecânicas ao movimento da Terra.

Diante desta controvérsia e a fim de verificar se de fato a Revolução Galileiana constitui um exemplo de violação das regras do empirismo lógico e racionalismo crítico, como afirma Feyerabend nas suas críticas a estas metodologias, faremos uma análise historiográfica destes dois aspectos do trabalho de Galileo.

Esta análise será dividida em dois capítulos. Num primeiro (intitulado *Sidereus Nuncius*) serão discutidos: o Telescópio, contexto de sua descoberta e contexto de sua justificação; as observações astronômicas de Galileo e o uso que ele faz delas em favor da nova cosmologia. Serão também analisados alguns aspectos da óptica medieval desenvolvidos por Alhazen (?965-1039), Witelo (séc. XIII), Robert Grosseteste (1175-1253), Roger Bacon (1214-1294), John Peckham (1220-1292), Francesco Maurolico (1494-1575), Giovanni Battista della Porta (1535-1615) e finalmente Johannes Kepler (1571-1630) que poderiam ter servido de bases teóricas para a construção do telescópico e justificação de seu uso.

Um segundo capítulo (Galileo e o Diálogo sobre os dois sistemas de Universo, Ptolomaico e Copernicano) será dedicado à reconstrução e análise dos argumentos mecânicos de Galileo em favor da mobilidade da Terra, inserindo-os na discussão medieval em torno da possibilidade do movimento da Terra (analisada na Parte I desta tese). Serão também discu-

tidas as novas idéias introduzidas por Galileo a fim de sustentar as suas respostas às objeções aristotélicas ao movimento da Terra (analisadas na Parte I).

Entre estas idéias de Galileo encontram-se: a) a sua lei da inércia, b) a nova mecânica (lei da queda dos graves, movimento de projéteis, movimentos compostos, e movimento em planos inclinados), c) o princípio da relatividade do movimento.

Finalmente será feito um paralelo entre a leitura historiográfica da física de Galileo feita nesta tese e aquela feita por Paul Feyerabend, comparando as duas visões no que diz respeito à postura epistemológica de Galileo.

Este paralelo será feito tendo em mente o debate Feyerabend *versus* Machamer.

CAPÍTULO 3

SIDEREUS NUNCIUS⁽¹⁾

"Você se espanta por existirem tão poucos seguidores da opinião pitagórica, ao passo que eu me espanto por já haver surgido alguém que a abraça e acompanhe. Jamais poderei louvar suficientemente a notável perspicácia dos que ligaram àquela opinião e a acolheram como verdadeira: em apoio a

(1) A mensagem das estrelas

A primeira obra de Galileo sobre a questão astronômica, em que ele defende o copernicanismo, é intitulada Sidereus Nuncius, expressão esta que, segundo Alexandre Koyré, foi usada por Galileo no sentido de 'a mensagem das estrelas'; entretanto, Kepler entendeu-a no sentido de 'o mensageiro das estrelas'. Esta última interpretação ganhou aceitação geral e só foi corrigida na edição recente do Nuncius por M. Timpanaro - Cardini, Florença, 1948.

A controvérsia em torno do título desta obra decorre do fato de que a palavra Nuncius tem em latim um duplo sentido de 'mensagem' e de 'mensageiro'. Esta controvérsia se estende à forma como Galileo menciona em italiano sua própria obra. Nas cartas que compõem a Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie Solari e loro accidenti, Galileo a chama de Avviso Sidereo (mensagem das estrelas) e não Avvisatore Sidereo (mensageiro das estrelas), porém em algumas outras cartas Galileo a denomina, em italiano, de Nunzio Sidereo (mensageiro das estrelas).

pura força do intelecto, fixeram eles tal violência aos próprios sentidos que chegaram a preferir o que a razão lhes dizia ao que a experiência sensível apontava ser o contrário".

Galileo Galilei*

3.1- Os primeiros anos de Galileo e a sua conversão ao copernicanismo

A 15 de fevereiro de 1564 nasce, em Pisa, Galileo Galilei, o mais velho dos sete filhos do músico Vincenzo Galilei e Giulia Ammannati⁽²⁾.

* Galilei, G., Dialogo sopra i due massimi sisteme del mondo - Tolemaico e Copernicano, Opere di Galileo Galilei, vol. VII, pp. 21-543, (Firenze: G. Barbèra Editore, 1933) a cura de Antonio Favaro; trad. Stillman Drake, 'Dialogue Concerning the Two Chief World Systems - Ptolomaic and Copernican' (University of California Press, 1967), p. 272. Doravante quando nos referirmos a este livro, o faremos da seguinte maneira: Galilei, G., 'Dialogue...' seguido pelo número da página correspondente na tradução de S. Drake.

(2) Segundo S. Drake "Vincenzio Galilei, era um músico cuja originalidade e talento polêmico promoveram uma revolução unindo prática e teoria na música tal como Galileu fez unindo-os na ciência" (Drake, S., Galileo, Oxford: Oxford University Press, 1980, p. 21). Vincenzio se opôs à divisão aristotélica entre episteme e techne que existia na ciência musical tradicional e dedicou-se, entre outras coisas, a reviver a forma clássica grega de música, como um antídoto a polifonia vocal, demasiadamente adornada, de seu tempo.

A família Galilei permanece em Pisa até 1572, quando transfere-se para Florença. Porém Galileo não acompanha os Galilei, ficando em Pisa aos cuidados de Muzio Tedaldi até 1574 quando então segue para Florença.

Os primeiros anos da vida de Galileo após a mudança para Florença (1575-1578) são dedicados aos estudos de gramática, lógica e retórica junto a um antigo monastério Camaldolense em Vollombrosa. Seu pai, contudo, temendo que Galileo acabasse tornando-se membro da ordem, já que por alguns meses Galileo chegou a freqüentar, o monastério, como noviço, o traz de volta para casa, em Florença em meados de 1578.

Galileo continua seus estudos com os monges Camaldolenses, embora não mais morando no monastério, até 1581 quando retorna a Pisa a fim de cursar medicina junto à Universidade de Pisa.

Porém Galileo não chega a obter qualquer grau e abandona a Universidade de Pisa no verão de 1585. Contudo no período em que lá permanece, Galileo dedica-se — inicialmente por conta própria e depois sob a orientação de Ostilio Ricci⁽³⁾ — ao estudo das matemáticas, particularmente dos textos de Euclides e Archimedes.

Galileo volta então para Florença e lá permanece até 1589, dedicando-se à matemática, mecânica e hidrostática. Data deste período a composição do seu primeiro tratado científico original, escrito em italiano em 1586, intitulado

(3) Ricci tornou-se mais tarde o matemático do grão-duque de Toscana.

La Bilancetta, (onde descreve a balança hidrostática), e o início da composição de um diálogo, em latim, dedicado a certos problemas sobre o movimento. Durante este período Galileo desenvolve também um trabalho sobre centros de gravidade de sólidos parabólicos.

Em novembro de 1589 Galileo torna-se professor de matemática, junto à Universidade de Pisa.

É por volta deste período que Galileo completa a sua investigação sobre o movimento que comporá o seu tratado anti-aristotélico *De Motu*⁽⁴⁾, terminado, provavelmente no último ano de Galileo em Pisa, entre 1591 e 1592.

Este manuscrito galileano é considerado por Stillman Drake como pré-científico, onde Galileo teria misturado "idéias causais tomadas da filosofia aristotélica com idéias matemáticas tomadas de Archimedes"⁽⁵⁾. Porém, é neste pequeno manuscrito pisano que Galileo apresenta o seu famoso argumento sobre o igual tempo de queda de corpos de mesmo material, de diferentes pesos, através do mesmo meio.

Este argumento tem despertado grande interesse dos historiadores da ciência de Galileo e da ciência em geral,

(4) "Este é o título sob o qual Favaro (Opere, vol. I) combinou uma série de estudos que, em forma de questões, serviram para examinar os principais problemas apresentados pelo movimento natural e violento" (Clavelin, M., The Natural Philosophy of Galileo, 1968, trans. by A.J. Pomeranus, Cambridge: MIT Press, 1974, p. 120 nota).

(5) Drake, Stillman, Galileo, (Oxford: Oxford University Press, 1980), p. 25.

primeiro porque nele Galileo claramente se opõe à visão aristotélica sobre o movimento de queda dos corpos, segundo a qual pesos diferentes de corpos da mesma matéria caem da mesma altura com velocidades diferentes de tal forma que os mais pesados atingem a Terra antes dos mais leves, na proporção dos respectivos pesos (ver: Arist., *Physica*, 216^a, 13-16). Em segundo lugar, porque este argumento está associado à legendaria experiência da Torre inclinada de Pisa.

"Os historiadores de Galileo - e os historiadores da ciência em geral - atribuem (segundo Koyré) às experiências de Pisa uma grande importância. Habitualmente, vêem nelas um momento decisivo da vida de Galileo: o momento em que ele se pronuncia abertamente contra o aristotelismo e inicia seu ataque público aos escolásticos. Nelas vêem, também, um momento decisivo da história do pensamento científico: o momento em que, justamente graças às suas experiências sobre a queda dos corpos, efetuadas de cima da Torre inclinada, Galileo desfere um golpe mortal na física aristotélica e assenta os fundamentos da nova dinâmica"⁽⁶⁾.

A discussão em torno deste experimento estenderia em demasia esta dissertação e nos levaria para longe dos nossos objetivos. Por isso apenas levantaremos alguns pontos desta discussão para em seguida analisarmos certas passagens do *De Motu* relevantes para a análise da conversão de Galileo ao

(6) Koyré, A., Galileo et L'expérience de Pise, à propos d'une Légende, extraído dos Annales de l'Université de Paris, Paris, 1937, pp. 442-453, in Koyré, A., Études d'histoire de la pensée scientifique, p. 213.

copernicanismo. No capítulo IV, desta tese, voltaremos a discutir o *De Motu* e a significância de alguns de seus capítulos para a origem do princípio de inércia de Galileo.

Muitos historiadores tem descrito o episódio da experiência da queda dos corpos do alto da Torre de Pisa de forma bastante dramática, porém quase todos (senão todos) baseiam-se no primeiro relato de que se tem conhecimento deste episódio, que foi feito em 1657 por Vincenzo Viviani, aluno, assistente e biógrafo de Galileo.

Diz Viviani: "Naquele tempo (1589-1590), ele (Galileo) estava convencido de que a investigação dos efeitos da natureza necessariamente exigia um conhecimento verdadeiro da natureza do movimento, de acordo com o axioma filosófico e popular *ignorato motu ignoratur natura*; e então, para a grande indignação de todos os filósofos, ele demonstrou - com o auxílio de experiência, provas e raciocínios exatos - a falsidade de numerosíssimas conclusões de Aristóteles sobre a natureza do movimento, conclusões que, até então, eram tidas como perfeitamente claras e indubitáveis. Assim, entre outras, a de que as velocidades de móveis de mesma matéria, mas desigualmente pesados e movendo-se através do mesmo meio, não obedecem a proporção de seus pesos, como é declarado por Aristóteles, mas se movem, todos, com a mesma velocidade. O que demonstrou em repetidas experiências (*esperienze*), feitas do alto do campanário de Pisa, na presença de outros professores e filósofos e de todos os estudantes (*con l' intervento delli*

altri lettori e filosofi e di tutta la scolaresca)^{*}. (Demonstrou também] que as velocidades de um mesmo móvel que cai, atravessando diferentes meios, não obedecem tampouco à proporção inversa da densidade desses meios, deduzindo-o a partir de conseqüências manifestamente absurdas e contrárias à experiência sensível"⁽⁷⁾.

Alexandre Koyré, comentando o relato de Viviani, afirma que, para reconhecer a inverossimilhança deste, basta um pouco de reflexão e de bom senso, um pouco de conhecimento teórico, um pouco de conhecimentos físicos.

Koyré, seguindo Wohlwill⁽⁸⁾, ressalta que sô mesmo uma análise muito ingênua e uma completa ignorância dos usos

* A. Koyré, no artigo Galileo et L'experience de Pisa (in Études D'Histoire de La Pensée, p. 217), traduz esta última frase da seguinte forma: "O que ele demonstra por repetidas experiências feitas do alto do campanário de Pisa, na presença de todos os outros professores e filósofos e de toda a Universidade". S. Drake por sua vez apresenta a seguinte tradução, no seu Galileo at work: "Ele mostrou isto por repetidas experiências feitas do alto da Torre inclinada de Pisa na presença de outros professores e de todos os estudantes" (Galileo at work; his scientific biography, Chicago: The University of Chicago Press, 1978, p. 19).

(7) Viviani, V., Racconto istorico della vita di Galilei, (Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. XIX, p. 606, Firenze: S.A.G. Barbèra Editore, 1938, a cura di A. Favaro).

(8) Wohlwill, V.E., Die Pisaner Fallversuche, Mitteilungen Zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften, vol. IV, pp. 229 sg.; Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre, vol. II, Hamburgo, 1926, p. 260 sg.

e costumes das Universidades permite admitir que "uma assembléia dos professores, seguida do conjunto dos estudantes, pudesse dirigir-se *in corpore* a uma praça pública com a finalidade única de assistir a uma experiência ridícula para a qual a tivesse convidado o último dos professores auxiliares - o mais novo, o de menor graduação e menor remuneração - da última de suas faculdades. Por outro lado, para indignar e consternar "todos os filósofos" não bastaria pôr em dúvida o ensinamento de Aristóteles. Com efeito, havia cem anos que não se fazia outra coisa. Além disso, os argumentos e raciocínios a que Viviani faz alusão, e com a ajuda dos quais Galileo refutara as "conclusões" de Aristóteles, não eram totalmente inauditos"⁽⁹⁾.

Drake se opõe às críticas do tipo das de Koyré e Wohlwill, afirmando que de fato o que Viviani descreve não é um experimento, mas uma demonstração de algo que Galileo conhecia previamente. Ou seja Galileo usou a Torre para demonstrar algo aos outros. Quanto às palavras de Viviani "na presença de outros professores e de todos os estudantes" (de acordo com a tradução de Drake, ver nota p. 12), segundo ele, devem ser entendidas como: *todos os seus estudantes*, alguns dos quais tinham presumivelmente "tentado convencer Galileo, citando seus professores de filosofia, e seria então natural para ele convidar aqueles professores para testemunhar um teste"⁽¹⁰⁾.

(9) Koyré, A., Galileo et L'expérience de Pise, apud Études d'histoire de la pensée..., p. 218.

(10) Drake, S., Galileo at work, p. 20.

Portanto, segundo a interpretação dada por Drake às palavras de Viviani, tal experiência teria sido assistida apenas por um pequeno grupo, e isto creio justificaria o facto estranhado por Koyré, de que uma experiência, tão importante, tão decisiva não tenha deixado nenhuma nota junto à Universidade, exceto o relato de Viviani, sessenta anos mais tarde, uma vez que ela não estaria montada sobre uma grande arte publicitária, como a interpretação de Koyré leva acreditar.

Porém a interpretação de Drake, certamente, não consegue responder a uma outra constatação de Koyré de que nem mesmo os amigos de Galileo, nem seus adversários, nem o próprio Galileo dizem qualquer palavra com respeito a este acontecimento. Mesmo que ele não tenha sido o acontecimento retumbante que Koyré interpreta no texto de Viviani, seria de se esperar ao menos alguns relatos de outros alunos de Galileo ou do próprio Galileo.

"Ora, nada é mais inverossímil do que esse silêncio. Seria preciso que admitíssemos que Galileo, que não se privou de nos contar e de nos apresentar, como efetivamente feitas, experiências que ele se limitara a imaginar, nos tivesse cuidadosamente escondido uma experiência gloriosa efetivamente realizada. Isto é tão improvável que não o podemos seriamente admitir. A única explicação possível para esse silêncio é a seguinte: se Galileo nunca fala da experiência de Pisa, é porque ele não a fez. Aliás, felizmente para ele. Pois, se a tivesse feito, formulando o desafio que, para ele, formularam os historiadores que dele se ocuparam, a experiên

cia poderia tê-lo deixado confuso"⁽¹¹⁾.

Assim, conclui Koyré, o relato de Viviani não se baseia em coisa alguma. A experiência de Pisa é um mito.

Outro aspecto importante do *De Motu* é que Galileo, ao discutir a questão de se o movimento circular é natural ou violento (no item *in quo de motu circulari quaeritur, an sit naturalis an violentus*) deixa transparecer claramente que, embora possivelmente conhecesse o *De Revolutionibus*⁽¹²⁾, ainda não havia se convertido ao copernicanismo, já que nele Galileo atribui um movimento circular, ao redor do centro, à esfera do mundo⁽¹³⁾.

Galileo também advoga a centralidade e imobilidade da Terra em seu *Trattato della sfera ovvero Cosmografia*, publicado em 1656, portanto depois de sua morte, e escrito por

(11) Koyré, A., Galileo et L'expérience de Pise, in Études d'histoire..., p. 219.

(12) Segundo nota S. Drake, no De Motu Galileo cita um resultado matemático do De Revolutionibus, o que leva a crer que ele já havia lido, senão todo, ao menos algumas partes deste tratado copernicano e certamente conhecia suas idéias gerais.

(13) A este respeito ver: Galilei, G., De Motu, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. I, p. 304. (Firenze: G. Barbèra Editore, 1932).

volta de 1592⁽¹⁴⁾.

No item intitulado *Che la Terra sia costituita nel centro della sfera celeste*, Galileo defende a centralidade da Terra usando alguns argumentos bastante semelhantes àqueles usados por Ptolomeu, e mais tarde por Sacrobosco (ver item desta tese)⁽¹⁵⁾.

A imobilidade da Terra é defendida no item *Che la Terra stia immobile*, por meio de argumentos exatamente iguais aos antigos argumentos aristotélicos e ptolomaicos (longamente analisados nos capítulos I e II desta tese).

Quanto a forma e movimento do Céu, Galileo os discute no item *Che il Cielo Sia Sferico e si muova circolarmente*, onde ele apresenta algumas razões em favor da esfericidade do

(14) Não se pode indicar com exatidão o ano em que o Trattato della sfera foi composto. Drake aponta como datas prováveis os anos de 1586-1587, enquanto Ferdinando Flora considera que ele só foi escrito depois da ida de Galileo para Pádua (dezembro 1592).

Antonio Favaro, por sua vez, afirma apenas que este tratado de cosmografia é anterior a 1597, já que as idéias contidas neles deixaram de ser defendidas por Galileo depois de 1597.

(15) É interessante notar que a divisão dos assuntos tratados neste pequeno livro de Galileo segue, assim como o De Sphaera de Sacrobosco, uma ordem bastante próxima da divisão do Almagesto de Ptolomeu. E encontramos nele argumentos muitos semelhantes aos de Ptolomeu, não havendo, nenhuma ênfase matemática, característica dos escritos posteriores de Galileo.

Côu, e tenta provar que seu movimento é circular⁽¹⁶⁾.

Porém esta postura de Galileo, no final do século XVI, não era de um conservadorismo isolado pois entre 1543, data da publicação do *De Revolutionibus*, e 1609, quando apareceu o livro de Kepler que mostrava que as órbitas planetárias eram elípticas, surgiram diversas críticas ao sistema copernicano⁽¹⁷⁾.

(16) ver: Galilei, G., Trattado della sfera ovvero Cosmografia, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. II, p. 215-216. (Firenze: G. Barbèra Editore, 1932).

(17) É bem verdade que também surgiram, neste período, alguns defensores do copernicanismo, tais como Robert Record, Thomas Digges (ver Fig. I), William Gilbert (que defendeu a doutrina da rotação diária da Terra), Michael Mästlin (professor de Kepler), Christopher Rothmann, Giovanni Battista Benedetti, Giordano Bruno, entre outros.

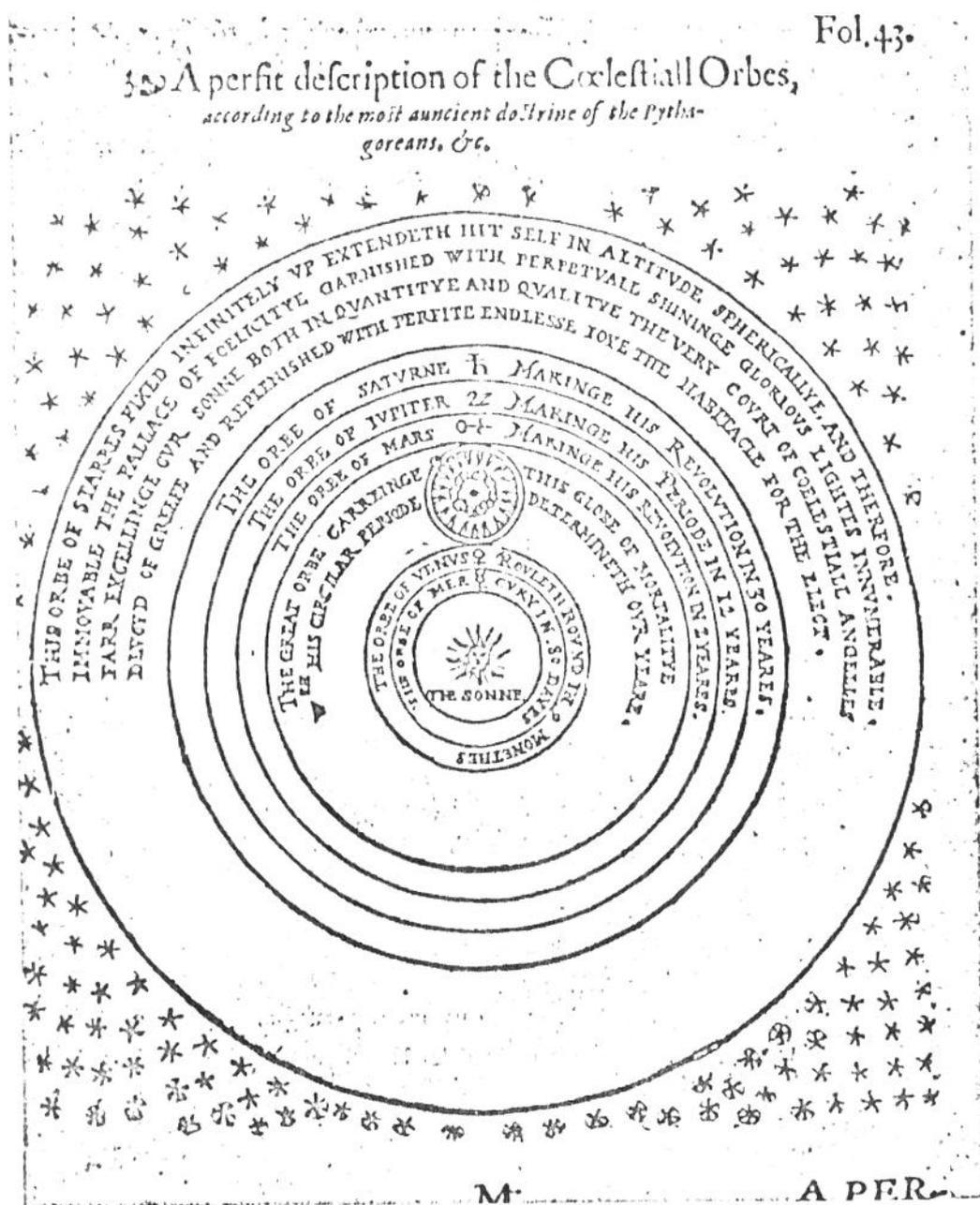


FIGURA I - Cosmologia Copernicana segundo Thomas Digges, A Perfit Description of the Coelestiall Orbes, publicado em 1576, (fotografado por O. Gingerich), extraído do: Beer, A. and Strand, K.Aa. ed., Copernicus, Yesterday and Today, Proceeding...., (1975), p. xxxii.

Entre estas destacam-se as de Tycho Brahe⁽¹⁸⁾.

Tycho se insurge contra Copérnico o qual, a fim de evitar o fenômeno da paralaxe estrelar, bem como as objeções observacionais de Ptolomeu ao deslocamento da Terra em relação ao centro do Universo, (ver p. desta tese), foi obrigado a estender o Universo de tal forma que não só a dimensão da Terra, mas também a sua órbita, passou a ser apenas um ponto em relação à esfera das estrelas fixas. Porém Tycho considerou isso inadmissível, bem como a consequência direta desta extensão do Universo, a saber: o inevitável aumento do

(18) Tycho Brahe (1546-1601), embora partidário do geocentrismo, por razões físicas muito válidas (que serão analisadas no próximo capítulo) deu à astronomia, como afirma Koyré, "é a ciência em geral algo de absolutamente novo, a saber, um espírito de precisão: precisão na observação dos fatos, precisão na medida e precisão na fabricação dos instrumentos de medida usados na observação. Não se trata, ainda, do espírito experimental, mas, de qualquer forma, já se trata da introdução, no conhecimento do Universo, de um espírito de precisão. Ora, é a precisão das observações de Tycho Brahe, que se situa na base do trabalho de Kepler. Com efeito, conforme nos diz este último, se o Senhor nos deu um observador como Tycho Brahe, não temos o direito de desprezar uma diferença de oito segundos entre suas observações (da longitude de Marte) e o cálculo. Tycho Brahe - é ainda Kepler quem nos diz - destruiu definitivamente a concepção das órbitas celestes portadoras dos planetas e circundantes da Terra ou do Sol e, por isso - ainda que ele não tenha apresentado o problema a si mesmo -, impôs a seus sucessores a consideração das causas físicas dos movimentos celestes" (Koyré, A., L' Apport Scientifique de la Renaissance, in Études d'Histoire de la pensêe..., p. 55-56.

tamanho das estrelas fixas.

Este argumento de Tycho pode ser resumido nas seguintes palavras de Christiaan Huygens: "antes da invenção do telescópio, parecia contradizer a opinião de Copérnico fazer o Sol uma das estrelas fixas. Pois as estrelas de primeira magnitude sendo estimadas terem cerca de três minutos de diâmetro; e Copérnico (observando que embora a Terra mudasse seu lugar elas sempre mantinham a mesma distância de nós (ausência de paralaxe estelar)), tendo ousado dizer que a orbis magnus era apenas um ponto com respeito à esfera na qual elas estavam colocadas, tinha uma clara consequência que todas elas que pareciam alguma coisa brilhante, deviam ser maiores do que a trajetória ou órbita da Terra: que é absolutamente absurdo. Este é o principal argumento que Tycho Brahe apresentou contra Copérnico. Mas quando os telescópios tiraram aqueles raios das estrelas que aparecem quando nós olhamo-las com o nosso olho nú (...) elas pareciam exatamente como pequenos pontos brilhantes, e então aquela dificuldade desapareceu, e as estrelas podiam ser, novamente, como muitos sóis"(19).

Tycho, apesar de contrário ao sistema heliocêntrico de Copérnico, também não é favorável ao sistema ptolomaico. Ele propôs um terceiro sistema alternativo, no qual a

(19) Huygens, Christiaan, Cosmotheoros, Sive De Terris Coelestibus, Earumque, Ornatu, Conjecturae, 1698 (français et latin), Liber I, p. 808/809, Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens, Publiée par la Société Hollandaise des Sciences, vol. XXI, La Haye: Martinus Nijhoff, 1944.

Terra permanecia fixa no centro do Universo ao redor do qual giravam a Lua e o Sol, enquanto os outros planetas giravam ao redor do Sol (ver Fig. II) ⁽²⁰⁾.

Embora o sistema de Tycho Brahe tenha gozado de êxito imediato entre a maioria dos astrônomos do século XVI, Galileo não parece ter dado muita atenção nem às críticas de Tycho, nem ao seu sistema — tanto que, apesar de citado, ele não é incluído entre os maiores sistemas de mundo aos quais Galileo dedica o seu *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo — Tolomaico e Copernicano*.

Esta nossa análise de alguns trabalhos de Galileo, anteriores a 1592 (ano da ida de Galileo da Universidade de Pisa para a Universidade de Padua) nos leva a crer que possivelmente até 1592 ele ainda não houvesse se convertido ao copernicanismo.

A primeira evidência positiva da preferência de Galileo pela astronomia copernicana corresponde a uma longa carta que ele enviou, em 30 de maio de 1597, a Jacopo Mazzoni, seu antigo aluno em Pisa.

Nesta carta Galileo responde a um falacioso argumento contra Copérnico presente em um livro de Mazzoni, publicado em 1597 e intitulado *In universam Platonie et Aristot*

(20) É interessante notar, como o fez Koyré, que o sistema de Tycho parece ser intermediário entre o sistema de Ptolomeu e o de Copérnico, o que nos levaria a esperar que ele tivesse sido construído entre os dois, "o que nos mostra que a história do pensamento científico não é inteiramente lógica" (Koyré, A., Les Étapes de la Cosmologie Scientifique, 1948, Études d'histoire de la pensée..., p. 95.

DE COMETA ANNI 1577.

189

*NOVA MUNDANI SYSTEMATIS HYPOTHOSIS
 ab Authore nuper adinventa, quae tum vetus illa Ptolemaica
 redundantiâ & inconcinnitas, tum etiam recens Copernicana
 in motu Terrae Physica absurditas, excluduntur, omniaq;
 Apparentis Caelestibus aptissime correspondent.*

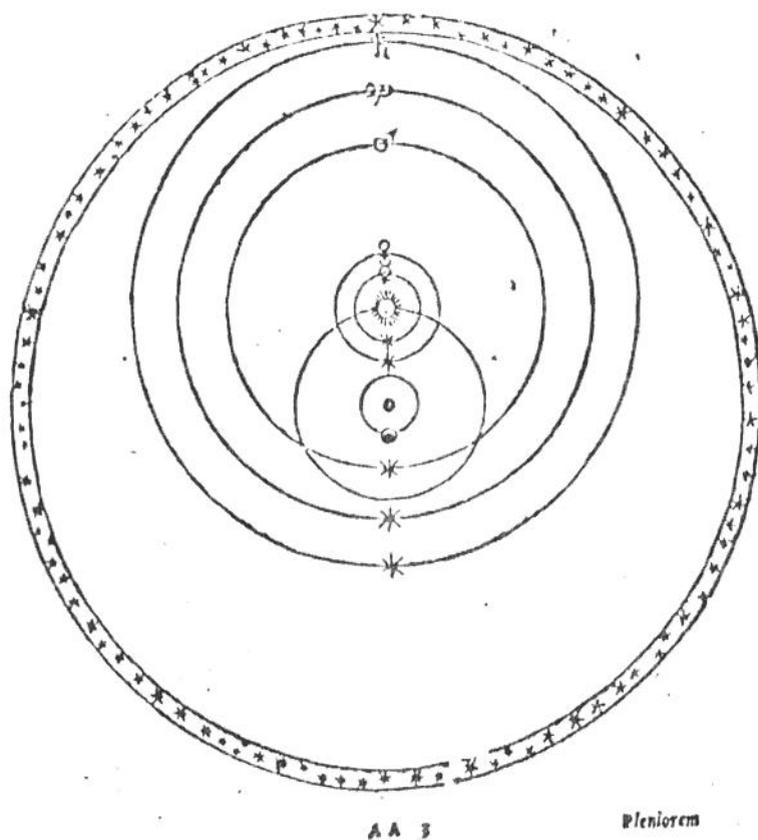


FIGURA II - Sistema Tyconico de Mundo desenhado no De Mundi Aetherei Recentioribus Phaenomenis Liber Secundis, impresso em Uraniborg em 1588 (fotografado por Owen Gingerich, apud Copernicus, Yesterday and Today, Proceeding of the Commemorative Conference..., Arthur Beer and K.Aa. Strand ed., p. xiii).

telis philosophiam...

Depois de demonstrar a falsidade do argumento de Mazzoni, Galileo escreve:

"Mas para dizer a verdade, embora eu corajosamente sustentasse aquelas outras posições, eu estava no início muito confuso e vacilei ao ver Vossa Excelência tão resoluto e francamente refutando as opiniões dos pitagóricos e copernicanos acerca do movimento e lugar da Terra, que, é sustentada por mim como sendo mais provável do que outras visões de Aristóteles e Ptolomeu, fez-me observar vosso argumento, como algo sobre o qual (e sobre outras coisas que dependiam de le) eu tinha alguma simpatia. Portanto, certo que vossa infinita amizade me permite sem ofender-vos dizer em defesa da minha idéia o que tinha me ocorrido, menciono-vos isto tal que ou podeis mostrar meu erro e corrigir-me, ou se a razão de Vossa Excelência se satisfazer, a opinião daqueles grandes homens e minha própria crença não permanecerão abandonadas" (21).

(21) Galileo, G., Carta a Jacopo Mazzoni, 30 de maio de 1957, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. II, p. 213, (Firenze: G. Barbèra Editore, 1932).

3.2- Telescópio: um sentido superior e mais aperfeiçoado

3.2.1- Construção dos primeiros telescópios

"Esta parte da óptica (dedicada à refração), quando bem entendida, nos mostra como podemos fazer com que coisas que estão situadas a grandes distâncias pareçam estar muito perto, e coisas grandes e próximas pareçam muito pequenas, e como podemos fazer pequenas coisas colocadas à distância parecerem tão grandes quanto quisermos, de tal forma que nos é possível ler as menores letras a uma distância incrível, ou contar areia, ou grãos ou sementes ou qualquer objeto diminuto".

Robert Grosseteste (1175-1253)*

Existe uma controvérsia bastante grande sobre a

* Grosseteste, R., De Iride (manuscrito), British Museum MS Royal 6, editado em 1912 por L. Baur, Die philosophischen werke des Robert Grosseteste, apud Crombie, A.C., Robert Grosseteste and the origins of Experimental Science, 1100-1700, (Oxford: at the Clarendon Press, 1953) 3^a ed., 1971, p. 119.

A parte da óptica a que Grosseteste se refere na passagem citada corresponde à terceira das três partes nas quais Grosseteste dividiu a óptica (a primeira trata da visão (de visu) e a segunda é dedicada aos espelhos (de speculis)).

Esta terceira parte é considerada por Grosseteste "intocada e desconhecida entre nós até o tempo atual" (De Iride), Baur, 1912, p. 73, apud Crombie, A.C., Robert Grosseteste, .., 1971, p. 119.

construção do primeiro telescópio.

Embora haja algumas evidências de que os chineses já conhecessem as lentes a partir do século X e os árabes a partir do século XI, eles não chegaram, ao que se sabe, a desenvolver qualquer dispositivo semelhante ao telescópio.

Roger Bacon (1214-1294), na sua mais conhecida obra *Opus Majus* (1266-1267), seguiu Grosseteste enfatizando a possibilidade de se usar lentes para aumentar pequenos objetos:

"Então podemos dar forma a corpos transparentes e arranjá-los de tal maneira com respeito a nossa vista e objetos de visão, que os raios se inclinarão do modo que nós desejarmos, e sob o ângulo que nós quisermos; nós poderemos ver o objeto perto ou à distância. Assim, a uma distância incrível podemos ler as menores letras (...). Nós também poderíamos fazer com que o Sol, a Lua e as estrelas, aparentemente, descessem até aqui embaixo"⁽²²⁾.

Porém não se pode dizer, com certeza, que o próprio Bacon tenha construído o seu telescópio, e ainda que o tivesse feito provavelmente teria obtido um dispositivo de pouca eficácia devido à má qualidade óptica das lentes disponíveis

(22) Bacon, R., Opus Majus, apud Ronan, C.A., The Cambridge Illustrated History of the World's Science, Cambridge University Press, (1983), 2 ed., 1984, p. 256.

na época⁽²³⁾.

(23) A refração da luz, no final do século XIII, era estudada através de superfícies planas transparentes; e através de esferas de vidro (pila crystallina) (fig. III), cujo comportamento, do ponto de vista óptico, é bastante complexo devido ao fenômeno da aberração. Também, começava-se a estudar a refração através de meia esfera de vidro (convexa sphaeralis superficies) (fig. IV) e mais tarde através do que hoje se conhece como lente plano côncava (concava sphaeralis superficies) porém a qualidade óptica de ambas, ainda deixava muito a desejar, isto porque elas eram obtidas a partir de esferas de vidro, portanto de pequeno raio e conseqüentemente foco curto o que as tornavam de pouca utilidade como objetiva de um telescópio. Além disso elas, no início, eram muito espessas, portanto o caminho óptico percorrido pela luz dentro destas superfícies, em relação ao comprimento focal, era relevante (coisa que desaparece quando pensamos em lentes de óculos, cuja espessura é desprezível em comparação com o comprimento focal. Outros problemas, que poderiam surgir seriam causados pelo fato de que as pila crystalinas, a partir das quais estas superfícies eram obtidas, dificilmente seriam perfeitamente esféricas, o que acarretaria problemas de distorções. Os fenômenos da dispersão e aberração cromática seriam também agravados nestas superfícies (se comparados com aqueles presentes nas lentes côncavas e convexas).

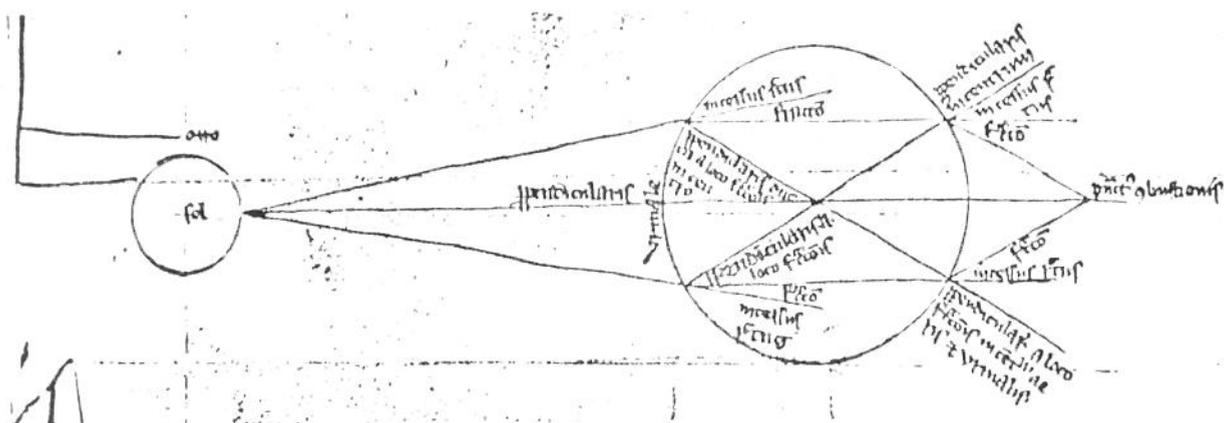


FIGURA III - "Diagrama ilustrando a teoria de Grosseteste, no De Nat. Loc., da focalização do raio do Sol por uma lente esférica; a partir do Opus Maius do Roger Bacon, iv.ii.2, M.S. Roy.7. F. viii, f. 25^r. O mesmo diagrama aparece também no MS Roy.7.F.vii, f.4^v." apud Crombie, A.C., Robert Grosseteste..., 1971, p. 122.

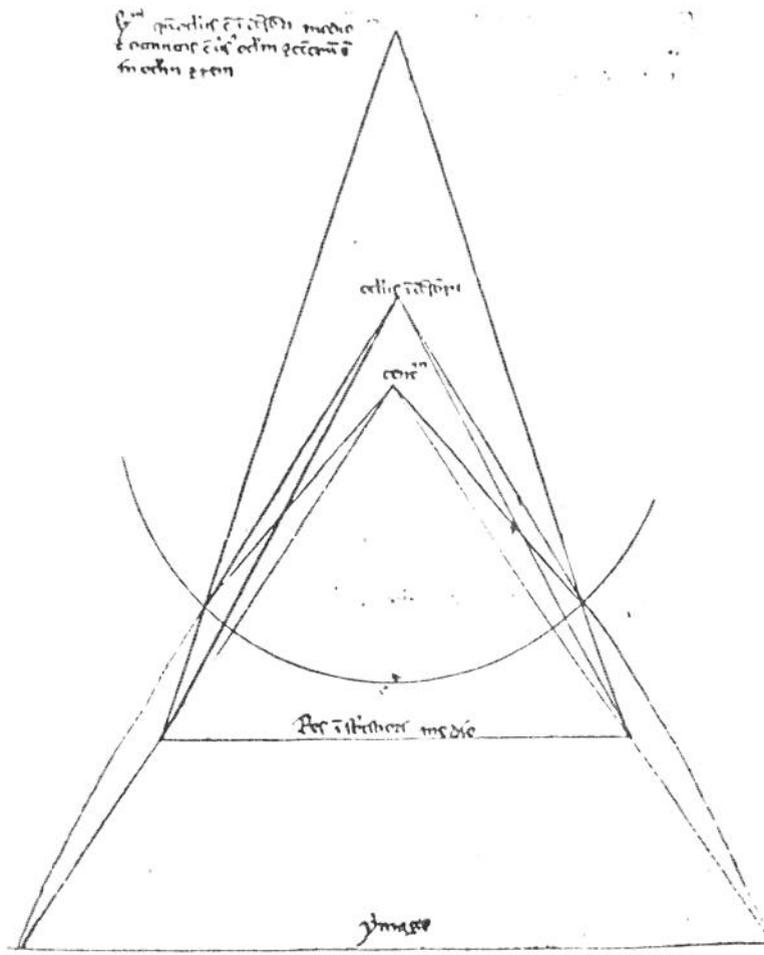


FIGURA IV - "Diagrama ilustrando a explicação de Roger Bacon da magnificação por uma seção convexa de uma esfera (Opus Maius, v.iii.ii.3^r). O objeto visto é representado pela linha marcada 'Res in subtiliori medio', e os raios que chegam ao olho, marcada 'Oculus in densiori', são aqueles que são refratados para ele atravessando a interface. Cada extremidade da imagem aumentada ('y mago') é vista sobre a projeção (mal desenhada) do raio refratado entrando no olho. A partir MS Roy.7.F.viii, f.92^v. Este MS contém diagramas ilustrando oito regras de Bacon para aumento e diminuição por superfícies esféricas, de acordo com as posições relativas do olho, o centro da esfera ('centrum') e a superfície". (apud Crombie, A.C., Robert Grosseteste..., p. 152).

A descoberta das lentes de óculos, decisiva para o futuro desenvolvimento da óptica devido a sua alta capacidade óptica, ocorreu, no Ocidente, no fim do século XIII provavelmente entre 1280 e 1286, quando foi introduzido o uso de lentes convexas (convergentes ou positivas) de pequena curvatura e foco longo para compensar a hipermetropia (o uso de lentes côncavas ou divergentes ou negativas para a correção da miopia — ou, como era conhecida, "vista fraca" — ocorreu muito tempo depois).

Segundo nota Vasco Ronchi, o verdadeiro inventor das lentes dos óculos não devia pertencer à classe das pessoas que escreviam acerca de suas descobertas, porque, apesar da investigação cuidadosa, não foi até hoje descoberto seu nome. Além disso, a palavra italiana *lente di vetro* (lenticilhas de vidro ou lenticilhas de cristal) usada para indicar estes pequenos discos de vidro era um termo popular e se "alguém mencionasse *lente* sem qualificar o material de que elas eram feitas correria o risco da confusão com o vegetal. A melhor prova de que a lente não foi inventada em um meio cultural é o modo como as pessoas cultas tratavam-na uma vez que seu uso foi introduzido. As lentes eram consideradas indignas de qualquer atenção e foram ignoradas por mais de três séculos. (...) Mesmo as raras alusões que nós encontramos sobre o uso de lentes em Alhazen, Bacon, Cardano e outros diz respeito ao uso de lentes como um meio de aumento mas nunca co-

mo um meio de correção da visão"⁽²⁴⁾.

No final do século XVI, agora com lentes bem mais aperfeiçoadas, encontramos algumas outras descrições de instrumentos que parecem acenar ao telescópio.

Leonard Digges (?-1571) afirmou ter inventado um dispositivo formado por uma combinação de lentes (uma côncava e outra convexa, montadas sobre armações sem tubo), que permitia que objetos distantes pudessem ser vistos como se estivessem perto.

Segundo escreveu Thomas Digges, filho de Leonard, seu pai foi capaz, através de vidros de perspectiva devidamente situados e sob convenientes ângulos, de descobrir as particularidades do mundo à sua volta, onde quer que o Sol brilhasse. Isso ele fez com a ajuda de alguns manuscritos de

(24) Ronchi, Vasco, Storia della Luce, 1939, trad. Barocas, V., The Nature of Light, (Cambridge: Harvard University Press, 1970), p. 71.

E embora Bacon, por exemplo no Opus Maius, v, Perspectiva, iii.ii.4., fale da utilidade das lentes convexas para melhorar a visão de pessoas idosas e pessoas com o olho doente, creio que Ronchi tem razão uma vez que Bacon está associando este uso ao poder de aumento das lentes, afirma Bacon nesta passagem: "este instrumento (feito de um pequeno segmento de esfera de vidro com a convexidade voltada para o olho) é útil para pessoas idosas e pessoas com o olho doente, pois elas podem ver qualquer letra embora pequena bastante aumentada" (Bacon, R., Opus Maius, apud Crombie, A.C., Robert Grosseteste, p. 151).

Roger Bacon que caíram em suas mãos (25).

Uma invenção similar foi pleiteada pelo italiano, de Nápoles, Giovanni Battista della Porta (ou Giambattista della Porta) (1535-1615) em 1589.

Della Porta é autor de um célebre livro publicado em 1558, intitulado *Magia Naturalis*. Este livro foi reimpresso inúmeras vezes e traduzido para muitas línguas (italiano, francês, espanhol, holandês e árabe). Em 1589, della Porta expandiu esta sua obra, de quatro para vinte livros (ou partes) acrescentando, entre outras, passagens sobre combinações de lentes (côncavas e convexas) através das quais se podia ver perto e longe (ver Figura V).

Lente crystallina longinqua proxima videre.
Posito enim deulo in eius centro retro letgem, remotam rem conspicator, nam quæ remota fuerint, ad eò propinqua videbis, vt quasi ea manu tangerè videaris, veltes, colores, hominum vultus, vt valde remotos cognoscas amicos. Idem erit

Lente crystallina epistolam remotam legere.
Nam si eodem loco oculum appofueris, & in debita distantia epistola fuerit, literas ad eò magna vltè his, vt perspicue legas. Sed si lentem inclinabis, vt per obliquam epistolam inspicias, literas satis manuculas videbis, vt etiam per viginti passus remotas leges. Et si lentes multiplicare noueris, non vereor quin per centum passus minimam literam conspicias, vt ex vna in alteram maiores reddantur characteres: debilis visus ex visus qualitate specillis vtatur. Qui id rectè sciuerit accommodare, nõ paruum nanciscetur secretum. Possumus

Lente crystallina idem perfectius efficere.

Concaua lentes, quæ longè sunt clarissimè cernere faciunt, conuexæ propinqua; vnde ex visuz commoditate his frui poteris. Concaua longè parua vides, sed perspicua, conuexo propinqua maiora sed, turbida, si vtrunq, rectè componere noueris, & longinqua, & proxima maiora & clara videbis. Non parum multis amicis auxilij prestimus, qui & longinqua obsoleta, proxima turbida conspiciabant, vt omnia perfectissimè contuissent. Si cordi fuerit

Lente crystallina conuexa imaginem in aere pendulam videre,

Si retro lentem spectabile opposueris, vt per centrum transeat, sed in opposito oculos, intra lentem & oculos spectrum videbis, quod si papyrus obijcies, clare videbis; vt candela accensa supra papyrus ardere uideatur. Sed

Lente concaua quam lata & longa sunt compendiosè depingere.

Poterit pictor maxima commoditate & proportione, nam opposita lente concaua, quæ in maxima planitie fuerint, in paruum orbem contrahit. Vnde pictor, qui ea contemplatur, paruo labore, & scientia, omnia ad amulsim proportionatè depingit. Sed ne aliquid de specillis omitteremus, trademus

Quomodo res multiplicata videri possit.

Inter ludos, qui circumferuntur, non parum iucunditatis est specillum, instrumentum vitreum illud, quod

FIGURA V - A passagem do *Magia Naturalis* que tem sido interpretada como uma descrição da construção do telescópio, apud Ronchi, V., *Storia della Luce*, trad. Barocas, V., *The Nature of Light*, p. 45.

(25) A este respeito ver: Digges L. and Digges T., *Stratoticas*, London, 1579, pp. 189-190, apud Crombie, A.C., *Robert Grosseteste and the origins...*, p. 279.

Kepler, no seu longo comentário sobre o *Sidereus Nuncius* — onde Galileo apresentou o seu telescópio e suas primeiras observações telescópicas — refere-se ao trabalho de della Porta sobre a combinação de lentes como um precursor do telescópio galileano.

Kepler afirma que: muitos têm-se mostrado incrédulos com respeito ao telescópio embora, "não se trate de nada impossível ou novo nem tenha sido recentemente descoberto por um belga, pois o anúncio se fez já há muitos anos por Giovanni Battista della Porta no livro XVII, cap. 10, do seu *Magia Naturalis* sobre os efeitos da lente de cristal. E para que se veja que não é uma novidade a combinação de uma lente cônca com outra convexa, reproduziremos as palavras de della Porta. Ele diz: "Ao pores o olho atrás do centro da lente, verás próximas as coisas que se encontram distantes, parecendo como se as pudesses tocar com as mãos, de maneira que reconheceres os amigos a muita distância, vendo também tão grandes as letras de uma carta situada a conveniente distância que as podes ler claramente. Se inclinas a lente de modo que observes a carta obliquamente, verás as letras o bastante grandes como para lê-las inclusive a uma distância de 20 passos. Mas se souberes como multiplicar as lentes, não duvido que verás a letra menor a 100 passos, já que os caracteres se tornam maiores em cada uma delas. Quem vê mal utiliza lentes segundo a condição de sua vista. Quem souber dispor corretamente estas coisas obteria um segredo nada desprezível. As lentes côncavas permitem distinguir muito claramente os objetos distantes; e as lentes convexas mostram claramente os objetos perto, de modo que podes usá-las em benefício de tua

vista. Com as lentes côncavas vê-se os objetos distantes pequenos e claros, enquanto que com as lentes convexas vê-se os objetos próximos maiores embora não bem definidos. Se souberes combinar ambas corretamente, verás maiores e claros tanto os objetos distantes como os próximos. Não pouca ajuda temos prestado a muitos amigos que viam desviadas as coisas distantes e borradas as próximas, conseguindo que vissem tudo com absoluta perfeição" (Porta, G.B., *Magia Naturalis*, Nápoles, 1558, 2ª ed. ampliada, 1589)"(26).

A passagem citada por Kepler pode sugerir que della Porta chegou perto do telescópio galileano. Porém, na realidade, como notou Vasco Ronchi, "examinando seu contexto a passagem refere-se somente à fabricação de óculos para corrigir algum defeito de visão que naquele tempo nem era definido nem

(26) Kepler, J., Dissertatio cum Muncio Sidereo, Praga, 1610, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei, vol. III, pp. 97-126, trad. Carlos Solís Santos, Conversacion de Juan Keplero con El Mensajero Sideral (Madrid: Alianza Editorial, 1984), p. 107.

O Dissertatio corresponde a um longo comentário sobre o Sidereus Nuncius que Kepler enviou a Galileo em 19 de abril de 1610, por intermédio do embaixador de Toscana, Giuliano De Medici, e que foi publicado um pouco mais tarde.

explicado pela óptica" (27).

Della Porta em uma carta escrita a Federico Cesi em 28 de agosto de 1609 reivindica para si a prioridade da descoberta do *cannocchiale* afirmando que: quanto ao segredo da luneta (*dell' occhiale*) tomado do livro 9 do meu *De refractione* eu o descreverei tal que se quiseses construí-la tirá-
rás dele puro prazer.

"É um cano de estanho de prata de um palmo de comprimento ad, e tres dedos de diâmetro, que tem na cabeça a um ócola (*occhiale*) convexo: ali tem um outro cano do mesmo (material), de 4 dedos de comprimento, que entra e sai no primeiro e tem um côncavo preso no primeiro, e tem um côncavo preso na ponta b. Mirando sô com o primeiro, se verão as coisas distantes próximas; mas como a visão não se faz no ca

(27) Ronchi, V., *Storia della Luce*, 1939, trad. Barocas, *The Nature of Light*, 1970, p. 82.

A primeira tentativa de explicar a teoria de lentes de óculos foi feita por della Porta no livro *De Refractione* (1593) e como a explicação apresentada por ele, quatro séculos depois da invenção dos óculos, ainda deixasse muito a desejar Vasco Ronchi conclui que: se alguém como della Porta "que estava muito à frente de todos os outros no estudo da refração e que também tinha tentado escrever um livro sobre a teoria de lentes (não havia ainda compreendido, completamente, como a convergência de lentes podia corrigir presbiopia) então nós podemos ter certeza que a aplicação de lentes para a correção da presbiopia era puramente devida ao acaso" (Ronchi, V., *The Nature*, p. 72) e que as lentes de óculos não foram descobertas por qualquer estudo teórico ou em qualquer escola filosófica ou científica daquele tempo.

teto, elas parecem obscuras e indistintas. Introduzindo o outro canal côncavo, que faz o efeito contrário se verão as coisas claras e direitas: e assim entra e sai para fora, como um trombone, até que se ajuste a vista do observador, que todas são diferentes..."(28).

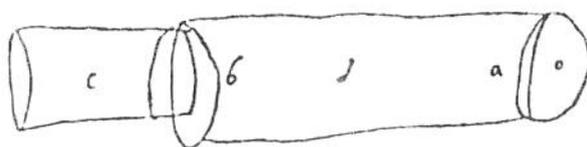


FIGURA VI - Figura da luneta (occhiale) de G. Battista della Porta presente na carta de della Porta a Federico Cesi, data da de 28 de agosto de 1609, (apud. Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. X, p. 252).

Segundo nota Antonio Favaro "nem o livro IX que tra ta *De coloribus ex refractione, s. de iride, lacteo circulo* etc, nem o livro VIII, que é intitulado *De specillis* contém

(28) Porta, Gio Battista della, carta a Federico Cesi. Napoli, 28 de agosto de 1609.

Esta carta é encontrada na Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. X, p. 252, (Firenze: G. Barbèra Editore, 1929), a cura di Antonio Favaro.

aquilo que esta carta descreve"⁽²⁹⁾. Na verdade, a descrição mais próxima da que é apresentada aqui encontra-se justamente na edição ampliada do *Magia Naturalis* (1589).

Porém, o *Magia Naturalis* é um livro dirigido ao público em geral e não ao meio acadêmico. Ele "não é um livro sério. É, (como afirma Ronchi) uma coleção de truques, jogos e mágicas e esta é a razão porque Porta decidiu incluir nele algo acerca de lentes"⁽³⁰⁾. Somente quatro anos depois da edição de 1589 do *Magia* é que della Porta retoma o estudo das lentes em outro livro, o *De Refractione* (1593), desta vez de uma forma mais séria⁽³¹⁾.

É interessante notar que della Porta tornou-se suspeito de bruxaria, após inaugurar, em Nápoles, uma academia 'dos curiosos', sendo mais tarde interrogado em Roma pela Inquisição.

Outra menção ao telescópio pode ser encontrada nos manuscritos de Leonardo da Vinci (1452-1519), onde segundo nota Francesco Flora se lê: "Fa occhiali da vedere la luna

(29) Favaro, A., comentário à carta citada nota 6, apud *Opere di Galileo Galilei*, vol. X, p. 252.

(30) Ronchi, V., *Storia della Luce*, trad. Barocas, V., *The Nature of Light*, p. 78.

(31) Uma evidência de que o *Magia Naturalis* era dirigido aos não especialistas é o termo que Porta utiliza, durante quase todo o livro, para denominar as lentes, a saber lente crystallina, que como já vimos era um termo popular. No *De Refractione* della Porta usa um termo mais digno: specillum, que era a palavra usada nos meios acadêmicos para denominar as lentes.

grande"⁽³²⁾. Esta afirmação parece indicar que Leonardo da Vinci teve em suas mãos um dispositivo que permitia ver objetos aumentados e que ele o dirigiu para o céu.

O estudioso holandês Cornelis de Waard (1906) em seu livro sobre a invenção do telescópio (*De Uitvinding der Verrekijkers*) demonstra com base em documentos encontrados no princípio deste século que a invenção da primeira luneta se deu por volta 1600 na Itália. Esta serviu de modelo para a construção em 1604, em Middleburg, de uma outra, porém elas permaneceram praticamente desconhecidas até que uma patente do telescópio foi requerida no começo de outubro de 1608, por um polidor de lentes de Middleburg chamado Hans Lippersheim (?-1619). Além de Lippersheim surgiram outros pretendentes rivais. Entre eles destacam-se Zacharias Jansen (em 1604) e Adrien Metius.

Segundo de Waard, tanto Hans Lippersheim como seus rivais Jansen e Metius fizeram seus primeiros telescópios depois de terem visto ou ouvido falar acerca deles. De Waard sustenta esta visão com base em "uma nota" escrita em 1634 por Isaac Beeckman, um amigo de Descartes, que trabalhava como polidor de vidros de óptica, como tantos outros seus contemporâneos, e que frequentava o *atelier* amador de Johannes Janssen (1611-?), o filho de Zacharias. Aqui está o que

(32) Vinci, Leonardo da, Manoscritti, cfr. Francesco Flora, Antologia leonardesca, Milano, Istituto Editoriale Cisalpino, 1947, p. 132, apud Opere di Galileo Galilei, a cura di Ferdinando Flora, (Sidereus Nuncius), (Napoli: Riccardo Ricciardi Editore), p. 12.

Beeckman escreveu: "Johannes Sacharias segh dat sijn vader den eersten verrekiijker maecte hier te lande anno 1604 naer eene van eenen Italiaen, daerop stont: anno 1(5)90" (Johannes Zacharias disse que seu pai fabricou o primeiro telescópio entre nós, no ano de 1604, a partir do modelo de um italiano, no qual estava escrito: ano 1590). Muito mais tarde, nós encontramos Johannes ditar um relato oficial totalmente diferente deste, mas sua confidência de 1634, mais próxima do acontecimento, e assim, sem dúvida mais sincera"⁽³³⁾.

Além disso o grande centro de indústrias de vidro e fabricação de lentes se encontrava, no tempo em questão, entre o vale de Arno e o lago Veneziano o que aumenta a possibilidade de que a primeira luneta tenha sido construída ali.

Todavia, se a descoberta foi feita por Bacon, Digges ou Porta, (o que não é certo) ela não foi difundida e acabou caindo no esquecimento. E embora a patente não tenha sido concedida a Lippersheim⁽³⁴⁾, segundo Drake, "de acordo com uma primeira avaliação parece que somente o instrumento de Lippersheim era no início de real valor; os outros eram um

(33) Danjon, A. e Couder, A., Lunettes et Télescopes - théories - Conditions D' Emploi Description - Réglage, (Paris: Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1983), p. 583.

(34) A patente não foi concedida a Lippersheim, porém ele recebeu um auxílio financeiro do governo holandês para construir, pra eles, mais três dos seus instrumentos, desde que o seu método fosse mantido em segredo.

pouco mais que brinquedos"(35).

Galileo, por sua vez, parece considerar que o primeiro inventor do telescópio foi "um simples fabricante de óculos comuns (da Holanda)"(36).

Certo é que em fins de 1608 notícias sobre a descoberta de um certo instrumento holandês, através do qual um objeto embora distante duas milhas do observador podia ser visto claramente como se estivesse perto, foram largamente difundidas.

Paolo Sarpi foi o primeiro, na Itália, que ouviu

(35) Drake, S., Galileo at Work, (Chicago: The University of Chicago Press, 1978) p. 138.

(36) Galilei, G., Il Saggiatore, (Rome, 1623) Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei, vol. VI, a cura di Antonio Favaro, (Firenze: G. Barbèra Editore, 1933), p. 258.

falar da invenção holandesa do telescópio⁽³⁷⁾. Isto ocorreu em novembro de 1608, quando chegou às suas mãos uma cópia de um jornal impresso, que circulou amplamente em toda Europa e que relatava a recente visita de uma embaixada do rei do Sião e de um general espanhol a Haia, no qual encontra-se uma descrição da nova invenção.

Apesar disso, Galileo parece não ter tido notícias acerca do telescópio (ou não deu crédito a elas) até julho de 1609 quando, em visita a Veneza a fim de verificar as

(37) Paolo Sarpi: seu nome era Pietro Sarpi, porém tornou-se o frade Paolo Sarpi quando, em 1565, entrou para a ordem de Servite. Em 1606 foi designado oficial teológico e consultor da República Veneziana. Sarpi era um homem extremamente bem informado de todo tipo de desenvolvimento, inclusive científico; para isso ele mantinha uma grande correspondência tanto com pessoas da própria Itália como com o exterior.

O parecer de Paolo Sarpi, tanto em política como em ciência era altamente considerado pelos venezianos. Um exemplo disso, foi a sua designação, por parte do governo veneziano, para investigar sobre uma possível compra de um instrumento (telescópio) estrangeiro, que estava sendo oferecido em Veneza em meados de 1609 por um alto preço.

Assim que lhe chegaram notícias sobre este instrumento holandês, Sarpi endereçou a vários correspondentes perguntas sobre a autenticidade das afirmações dos seus inventores sobre a capacidade de tais dispositivos. Entre estes correspondentes encontra-se Jacques Badovere.

É provável que Sarpi tivesse conhecimento das idéias de Porta sobre a combinação de lentes já que este último o visitou, em Veneza, em 1580, portanto depois da publicação do livro de Porta sobre mágica natural.

perspectivas de ter seu salário aumentado, ficou sabendo, por intermédio de amigos, da existência de tal instrumento.

Este episódio é narrado por Galileo no *Sidereus Nuncius*, escrito nos primeiros meses de 1610 e publicado em 12 de março de 1610, onde são descritas suas primeiras observações telescópicas:

"Há cerca de dez meses chegou aos meus ouvidos uma notícia de que um certo belga tinha construído um pequeno telescópio por meio do qual objetos visíveis, embora muito distantes dos olhos do observador, eram vistos claramente como se estivessem perto. Deste efeito, verdadeiramente notável, várias experiências foram relatadas, às quais algumas pessoas davam crédito enquanto outras as recusavam. Uns poucos dias mais tarde a notícia me foi confirmada em uma carta de um nobre francês de Paris, Jacques Badovere, que me motivou a dedicar-me sinceramente à investigação do meio pelo qual eu podia chegar à invenção de um instrumento similar"⁽³⁸⁾.

Jacques Badovere foi aluno de Galileo, tendo estudado e morado com ele em Pádua entre 1597 e 1599, mudando-se posteriormente para Paris.

(38) Galilei, G., *Sidereus Nuncius*, (1610, Veneza), Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei, vol. III, a cura di Antonio Favaro, (Firenze: G. Barbèra Editore, 1933), p. 60, *The Starry Messenger*, Trans. and abridged in Drake S., *Discovery and Opinions of Galileo* (Doubleday, New York, 1957), e *La Gaceta Sideral*, no *Galileo-Kepler: El Mensaje el mensajero Sideral*, trad. C.S. Santos (Madri: Alianza Editorial 1984; p. 38).

Dado que não havia sido mantida correspondência direta entre Galileo e Badovere depois da mudança deste último para Paris, é possível que a carta a que Galileo se refere na citação acima, não tenha sido endereçada ao próprio Galileo e sim a Sarpi, com quem Badovere manteve correspondência depois de sua visita a Veneza e Pádua em 1607-1608.

No livro *Galileo at Work*, Stillman Drake comenta que a afirmação de Galileo, no *Sidereus . . .*, de que uma carta de Badovere confirmou prontamente a existência do instrumento holandês, sugere que Galileo quando em Veneza, próximo do fim de julho, ao ouvir rumores sobre o telescópio, provavelmente visitou Sarpi para saber sua opinião sobre o instrumento holandês, o qual deve ter-lhe mostrado a resposta de Badovere a uma carta sua⁽³⁹⁾.

Diante destes rumores e das poucas possibilidades de conseguir o aumento de salário, cuja reivindicação o levara até Veneza neste mês de julho, e imaginando a importância que o telescópio teria para o governo veneziano nas atividades marítimas e terrestres, Galileo retorna a Pádua (3/8), onde então residia, para tentar construir um destes instrumentos, cuja invenção "podia ser-lhe útil para melhorar sua

(39) Em 30 de março de 1609, Sarpi escreve uma carta a Badovere, perguntando sobre o telescópio: "eu lhe dei minha opinião sobre os 'óculos' holandeses. Pode haver algo mais, se você soube mais acerca disto eu gostaria de saber o que é 'imaginado lá'". (Atti del Reale Instituto Veneta) 87 (1927, pt 2): 1160, provavelmente a carta que Galileo se refere é uma resposta a esta.

situação financeira"⁽⁴⁰⁾.

Segundo Galileo escreve no *Il Saggiatore* (1623), na primeira noite depois do seu retorno ele já havia resolvido o problema da construção do telescópio, tendo construído um no dia seguinte. Galileo envia notícias disso aos amigos de Veneza com os quais havia discutido o assunto no dia anterior. Seis dias mais tarde, Galileo encontra-se a caminho de Veneza com um instrumento mais perfeito, que foi exibido para os principais gentis-homens daquela República, por mais de um mês em seguida.

Este evento foi relatado por Galileo em uma carta endereçada a seu cunhado Beneditto Landucci a 29 de agosto de 1609:

"... Há quase dois meses espalharam-se notícias aqui que na Holanda tinham presenteado o Conde Maurício (de Nassau) com um pequeno telescópio (*occhiale*) ... através do qual um homem duas milhas distante podia ser visto claramente ... Como me pareceu que ele devia estar baseado na ciência da perspectiva, comecei a pensar acerca da sua construção, que finalmente consegui, e tão perfeitamente que um (*occhiale*) que fiz superou e muito a reputação daquele holandês. E tendo chegado informações a Veneza de que eu tinha feito um, fui chamado há 6 dias pela Serenissima Senhora para que o mostrasse a todo o Senado, para a infinita perplexidade de todos; e houve numerosos cavalheiros e senadores que, embora velhos, subiram mais de uma vez as escadas da torre mais alta de Ve-

(40) Drake, S., Galileo at work, p. 137.

neza para observar no mar veleiros e navios tão distantes que, vindo todos eles para o porto, foram necessárias 2 horas e pouco antes que pudessem ser vistos sem o meu telescópio (*mio occhiale*). De fato o efeito deste instrumento é representar um objeto que está por exemplo a cinqüenta milhas de distância grande e próximo como se estivesse apenas a cinco".

"Agora, tendo imaginado quão útil este seria para os negócios marítimos bem como para os terrestres, e vendo-o cobijado pelo governo veneziano, resolvi a 25 deste mês aparecer ao Colégio e fazer um sincero presente dele ao Lorde (o magistrado supremo da corte de Veneza). E tendo-me sido ordenado que aguardasse na sala do Pregadi, lá logo apareceu o procurador Prioli, que é um dos diretores da Universidade (...). Saindo do Colégio ele tomou minhas mãos e falou-me que o colégio havia ordenado imediatamente aos honráveis governantes que, se eu estivesse disposto, renovassem minha nomeação pelo resto da vida e com um salário de um mil florins por ano (como leitor no Estúdio de Pádua)* ... Assim encontro-me preso para o resto da vida, e terei que contentar-me de gozar minha terra natal algumas vezes durante os meses de férias"⁽⁴¹⁾.

* mil florins correspondia ao dobro do salário que Galileo recebia antes (que era 520 florins) e que já era três vezes mais do que qualquer outro ordenado de qualquer outro dos seus antecessores. (a este respeito ver: Galileo, G., Il Saggiatore, p. 258).

(41) Galileu, G., Carta a Benedeto Landucci (in Firenze) Venezia, 29 agosto 1609; Le Opere, vol. X, pp. 253-254 (Firenze: G. Barbèra Editore, 1934, XII).

Galileo não cumpriu a sua parte no combinado - a saber, permanecer em Pádua pelo resto da vida - já que os benefícios prometidos pelo procurador Prioli, também não foram honrados, o aumento para 1000 florins por ano só viria um ano depois, após a expiração de um contrato anterior, e sem possibilidade de aumento futuro. Imediatamente Galileo reabre negociações de emprego junto à Corte de Toscana onde o Grão-duque, Cósimo di Medici, seu antigo aluno (1605), demonstra, por intermédio de Enea Piccolomini, interesse por um dos novos instrumentos.

Em 1610, Galileo passa a trabalhar para a Corte de Toscana com liberdade de residência e atividades.

3.2.2- A descoberta galileana do telescópio: fruto de raciocínio dedutivo?

Segundo Galileo afirma em *Il Saggiatore* escrito muitos anos mais tarde (1623) a única informação que ele tinha quando construiu o seu primeiro telescópio é que: o Conde Maurício de Nassau havia sido presenteado com uma luneta (*occhiale*) que permitia que objetos distantes fossem vistos claramente como se estivessem perto, *né più fu aggiunto* (nada mais foi acrescentado).

Vários contemporâneos de Galileo o acusaram de ter visto um telescópio antes de fazer o seu próprio ou o acusaram, como fez Sarsi, de ter feito do telescópio um filho seu, quando não passava de um seu discípulo.

Que Galileo não foi o primeiro inventor do telescó

pio não há dúvidas; ele mesmo nunca afirmou isto, como vimos no item anterior. Quanto à acusação de Sarsi, Galileo responde:

"... Que retórica é a sua? tinhas antes acreditado que em tal ocasião tivesse tentado apresentá-lo como meu filho, quando estavas bem certo de que não era. Qual parte eu tenha no descobrimento deste instrumento, e se eu possa com razão chamá-lo produção minha, já há muito tempo o esclareci em meu *Avviso Sidereo* escrevendo como em Veneza, onde me encontrava naquele tempo, chegou a notícia de que um holandês havia apresentado ao Sr. Conde Maurício uma luneta (*occhiale*) com a qual as coisas longínquas percebiam-se tão perfeitamente como se estivessem bem perto"⁽⁴²⁾.

No que se refere à primeira acusação, de que Galileo teria visto um exemplar antes de construir o seu telescópio, creio que E. Rosen tem razão quando afirma que não há razão para duvidar da afirmação de Galileo de que ele construiu seu primeiro telescópio com base em rumores e relatos de outros⁽⁴³⁾.

Embora sem ter examinado um telescópio, provavelmente Galileo conversou com pessoas que viram um, já que a 19 de agosto de 1609, quando Galileo ainda se encontrava em Veneza, um amigo seu escreve a Roma contando que se achava em Pádua um estrangeiro com um destes novos instrumentos; se

(42) Galileu, G., Il Saggiatore, pp. 257-258.

(43) Rosen, E., Did Galileo Claim he Invented the Telescope, Proceedings of the American Philosophical Society, 98, 1954, pp. 304-312.

Galileo ficou ou não sabendo desta notícia nada se pode afirmar; certo é que a 3 de agosto retorna a Pádua; porém o estrangeiro já havia partido para Veneza onde pretendia vender seu instrumento por um alto preço.

Mesmo se for correta minha suposição de que Galileo teria conversado com pessoas que viram o telescópio, poucas informações ele poderia ter obtido, além de alguns detalhes como a forma do tubo e que era um instrumento de lentes, já que os proprietários dos telescópios, ao exibirem os seus produtos, proibiam os pleiteantes à compra de examinarem o instrumento, podendo apenas olhar através dele. Assim sendo estes relatos pouco teriam auxiliado Galileo na construção do seu próprio instrumento, exceto é claro por impulsioná-lo a pensar no assunto.

Contrariamente Albert van Helden, seguindo Cornelis de Waard, acredita que a partir destas poucas informações qualquer simples fazedor de óculos comuns teria sido capaz de um raciocínio similar àquele de Galileo ao solucionar o problema da construção do telescópio. Afirma Helden: "de fato o instrumento era tão simples que qualquer polidor de lentes teria feito um depois de ouvir uma descrição superficial dele"⁽⁴⁴⁾, ou seja, depois de saber que a arte existe e, principalmente, depois de ter sido vista a forma do tubo.

Considero, no entanto que o raciocínio necessário para se chegar ao telescópio não só não é suficientemente sim

(44) Helden, Albert Van, The Telescope in the Seventeenth Century, Isis, March, 1974, 65, nº 226, p.

ples para ter sido feito por qualquer polidor de lentes que tivesse ouvido falar do telescópio, como também não é suficientemente simples para ter sido feito por tantos quantos estudaram óptica àquela época, exceto se entendermos por 'óptica', a 'óptica pós-kepleriana', isto porque, como veremos adiante, os estudos existentes no século XVI e começo do século XVII sobre formação de imagens em lentes ou sistemas de lentes não ofereciam bases para a construção do telescópio, com exceção, talvez, do *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae par Optica Traditur, de Kepler* (1604, Frankfurt), o qual Galileo, até outubro de 1610, não havia conseguido ler⁽⁴⁵⁾.

(45) Segundo nota V. Ronchi "O Paralipomena, embora fosse um trabalho de grande importância, teve uma séria omissão; ele não fez nenhuma menção à teoria das lentes. Somente uma página se ocupa, de passagem, com lentes, considerando-as úteis como dispositivos para aumentar a convergência ou divergência dos cones de raios e portanto adequados somente para a correção de defeitos da visão. Portanto, até para Kepler, as lentes não tinham qualquer interesse particular no que diz respeito à óptica. É interessante notar que ele novamente declarou que foi inspirado pelo trabalho de Porta que tinha sido o único autor até agora, a tentar explicar como as lentes funcionavam. Kepler afirmou que também era devedor a Ludwing de Dietrichstein o qual por três anos tentou interessá-lo na questão das lentes de óculos. Dietrichstein era um alto oficial em Praga quando Kepler lá estava. Era, portanto, uma pessoa de importância que Kepler não se atreveria a ignorar. A menção dele por Kepler indica que ele (Kepler) não estava incumbido de tal estudo, que naquele tempo era considerado pelos acadêmicos ser uma matéria indigna de estudo" (Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, The Nature..., p. 94).

Mesmo os textos mais avançados de óptica deste período não ofereciam uma explicação correta de imagens projetadas por uma lente convexa. Além disso a explicação correta para imagens vistas através de pequenas aberturas só foi oferecida por Francesco Maurolico de Messina (1494-1575) em um pequeno livro publicado, postumamente, em 1611.

Este pequeno livro, cujo manuscrito data de 1554, contém muitas idéias que reaparecem mais tarde no *Ad Vitellionem Paralipomena* e poderiam ter servido de base para a construção do telescópio. Porém ninguém, nem Porta, nem Kepler, menciona os manuscritos nos quais Maurolico expressou suas idéias o que nos leva a concluir que: "Maurolico foi um precursor isolado, que não foi entendido. O que escreveu permaneceu desconhecido porque ele estava adiante de seu tempo e certamente ninguém prestou qualquer atenção às suas idéias. Somente trinta e seis anos depois de sua morte e depois do triunfo do telescópio e da queda da ciência antiga, alguém, talvez o próprio Padre Clavius, enquanto relia os manuscritos de Maurolico compreendeu que Maurolico tinha entendido muitas coisas mais antes de outros escritores e isto o levou a publicação do *Photismi* e do *Diaphanorum*"⁽⁴⁶⁾, que corresponde às duas partes das quais consiste este pequeno livro de Maurolico publicado em 1611⁽⁴⁷⁾.

(46) Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, V., The Nature of Light, p. 106.

(47) outros detalhes sobre o trabalho de Maurolico ver: Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, V., Nature of Light, pp. 99-107.

Porém, creio que, com respeito a estas acusações de Helden e de Waard, é esclarecedora a resposta que Galileo dá, no *Il Saggiatore* (ver nota 10), à acusações semelhantes feitas por Sarsi:

"Pode ser que alguém afirmasse ser de bastante ajuda, para solucionar qualquer problema, ficar ciente antecipadamente da verdade da conclusão e ficar certo de não estar procurando o impossível, e que por isso o conhecimento e a certeza de que a luneta (*occhiale*) já havia sido construída foram-me de tanta ajuda que sem eles eu não a teria talvez encontrado. Respondo a isso dizendo que a ajuda oferecida pelo conhecimento da existência do telescópio me impulsionou a pensar sobre o assunto, porque pode ser que sem ele eu nunca teria pensado nisto; porém, que o conhecimento de sua existência possa ter facilitado minha invenção, não acredito; e afirmo mais, que encontrar a solução de um problema já marcado e conhecido é obra de raciocínio (*ingegno*) muito maior do que daquele que é necessário para encontrar a solução de um problema ainda não pensado nem conhecido, pois nesta hipótese pode haver influência do acaso em grande parte, mas naquele é obra do desenvolvimento lógico (*discorso*). E estamos certos de que o holandês, primeiro inventor do telescópio (*telescópico*), era um simples fabricante de óculos comuns, que, casualmente manuseando vários tipos de vidros, por sorte, encontrou, ao olhar ao mesmo tempo através de dois deles, um convexo e outro côncavo, colocados a distâncias diferentes do olho, e desta forma verificou e observou o efeito derivado, e inventou o instrumento. Eu, porém, empolgado por este invento, encontrei a mesma coisa, mas por desenvolvimento lógi

co (*discurso*) ... Porém, se Sarsi ou outros pensam que a certeza da conclusão seja de grande ajuda para produzir um determinado efeito, leiam eles as histórias onde encontrarão que Arquita produziu uma pomba voadora, Arquimedes, um espelho que ardia a enorme distância, ..., que foram acesas luzes perpétuas e ... Raciocinando a respeito disto, poderão, sem muito esforço e com grande honra e utilidade, encontrar o sistema de construção ou, se ao menos isto não se verificar, tirarão o benefício de esclarecer melhor que a facilidade que eles se prometiam em conhecer antecipadamente a verdade do efeito era muito menor do que acreditavam"⁽⁴⁸⁾.

Está claro que a descoberta de Galileo nem foi obra do acaso, nem uma simples reprodução de um dispositivo cujas partes e disposições se conhecia previamente. Porém ela está longe de ser um raciocínio lógico dedutivo. Isto pode ser constatado em algumas passagens onde Galileo descreve o seu raciocínio para a construção do telescópio. Ele não desenvolve (ou, se desenvolve, não apresenta em qualquer das suas cartas ou escritos) qualquer teoria a priori sobre a formação de imagens através de lentes ou de sistemas de lentes a partir da qual se poderia deduzir os tipos e a quantidade de lentes necessárias para a construção do telescópio, e determinar as distâncias entre as lentes a fim de obter o efeito

(48) Galileo, G., Il Saggiatore (Rome, 1623) p. 259. Cabe notar que apenas no Sidereus... Galileu se refere ao seu novo instrumento como cannochiale. Nas obras posteriores, como o Il Saggiatore, Dialogo... e Discorsi... intorno a due nuove scienze... ele o denomina de telescopio.

desejado. O que Galileo faz, na verdade, é experimentação óptica; embora a apresente de uma forma sistemática, nada mais é que tentativa e erro. Galileo descreve:

"Meu raciocínio foi este. O dispositivo necessitava de um ou de mais de um vidro. Não podia consistir de um só, porque a sua forma teria que ser convexa... ou côncava..., ou contida entre superfícies paralelas. Porém aquele citado por último não alterava os objetos visíveis de modo algum, nem aumentando-os, nem os diminuindo; o côncavo os diminuía e o convexo, embora na verdade os aumentasse, mostrava-os muito indistintamente e confusos. Portanto um único vidro não é suficiente para produzir o efeito. Passando então para dois e sabendo anteriormente que o vidro com faces paralelas nada alterava, concluí que o efeito ainda não seria obtido pela combinação de um deste com um dos outros dois. Portanto restava-me tentar descobrir o que aconteceria pela combinação de uma lente convexa com uma côncava, e você vê como isto me dá o que eu procuro" (49).

Isto não parece em absoluto um raciocínio lógico, porque a combinação de lentes a que chegou Galileo, de uma côncava e uma convexa, não segue necessariamente das premissas anteriores. Em primeiro lugar não seria necessariamente uma combinação de apenas duas lentes; em segundo, mesmo supondo esse número, haveria a possibilidade de três outros tipos de combinações, a saber: duas lentes côncavas, que produz um dispositivo que mostra a imagem menor do que aquela

(49) Galilei, G., Il Saggiatori (Rome 1623), p. 259.

vista a olho nú; duas lentes convexas⁽⁵⁰⁾, que colocadas a conveniente distâncias produz uma luneta que supera o telescópio galileano em potência e amplitude de campo, porém com a desvantagem de que apresenta a imagem invertida (o que seria facilmente resolvido pela introdução de uma terceira lente convexa), e finalmente uma lente côncava e outra convexa, porém colocadas na ordem inversa àquela que Galileo usou.

Além disso a combinação a que Galileo chegou (Figura VII) só produz o efeito desejado se a ocular côncava estiver a uma certa distância da objetiva convexa, de tal forma que a imagem formada pela objetiva esteja localizada atrás da ocular, portanto o objeto que projetará a imagem na ocular será virtual.

Outra evidência de que Galileo não tinha qualquer teoria óptica prévia a partir da qual teria derivado dedutivamente o seu telescópio é que nem mesmo na única passagem do *Sidereus Nuncius* dedicada à invenção e características do telescópio Galileo apresenta qualquer análise teórica sobre

(50) Kepler, no seu Dioptrice (1611), aponta que os objetos poderiam ser vistos aumentados não só por meio da combinação de lentes de Galileu, mas também pela combinação de duas lentes convexas, embora com a sua imagem invertida. Porém Kepler também mostrou que tal configuração projetará uma imagem em pé sobre um anteparo e que a imagem vista através do telescópio consistindo de duas lentes convexas poderia ser colocada em pé pela introdução de uma terceira lente. (ver: J. Kepler, Gesammelte Werke (Munich: C.H. Beck, 1937) vol. IV pp. 387-389). Esta descoberta de Kepler tornou-se comum apenas 50 anos depois, sendo utilizada por Huyghens.

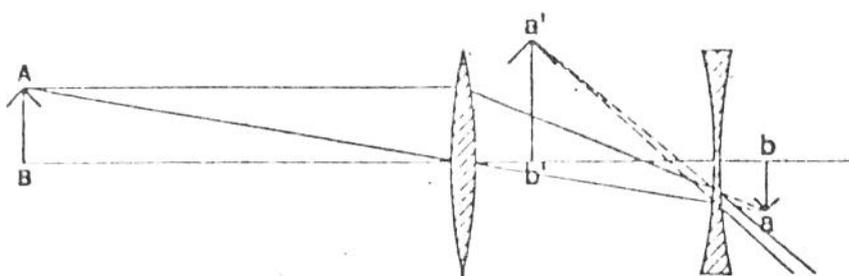


FIGURA VII - Telescópio de Galileo: onde AB representa o objeto, ab a imagem formada pelas lentes objetivas e a'b' a imagem como vista através do telescópio (figura extraída de: Helden, A.V., The Telescope in the Seventeenth Century, Isis, march, 1974, 65, nº 226).

o funcionamento do telescópio, nem qualquer discussão detalhada sobre como as lentes operam.

Nesta passagem, depois de descrever as circunstâncias em que ele se encontrava quando construiu o seu primeiro telescópio (ver p. desta tese), e de apresentar uma descrição bastante superficial deste (um dispositivo formado por "um tubo de chumbo, a cujas extremidades" (ele adaptou) "duas lentes de vidro, ambas planas de um lado enquanto que do outro lado uma era esfericamente côncava e a outra convexa"⁽⁵¹⁾). Galileo fala do uso que fez do telescópio para a observação de coisas terrestres e celestes, observando primeiro a Lua e depois dela as estrelas, tanto as fixas como

(51) Galilei, G., Sidereus Nuncius (1610), Opere, vol. III, pp. 60-61, ou The Stary Messenger, trad. Drake, no Discovery, pp. 28-29, ou El Mensaje y el Mensajero Sideral, trad. S. Santos, pp. 39-40.

as errantes.

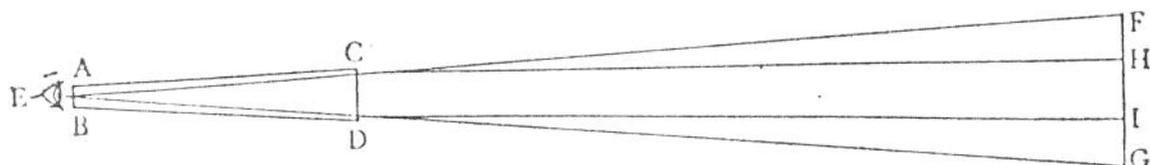
Em seguida, Galileo apresenta uma discussão extremamente rudimentar sobre um método de determinar o grau de aumento de um telescópio, baseado exclusivamente na experimentação óptica, e de um método que possibilitava a medida das distâncias das estrelas fixas e errantes.

Escreve Galileo: "A fim de estabelecer com facilidade o aumento do aparato, (que deve aumentar os objetos em pelo menos quatrocentas vezes e mostrá-los vinte vezes mais próximos, para que se possa observar todas aquelas coisas que eu observei no Céu e que serão enumeradas mais adiante no *Sidereus*), deve-se desenhar os contornos de dois círculos ou quadrados de papel, um dos quais seja quatrocentas vezes maior que o outro, o que ocorrerá quando o diâmetro do maior for vinte vezes maior que o do outro. Em seguida, deve-se olhar de longe, simultaneamente, ambas superfícies colocadas na mesma parede, observando a menor com o olho aplicado na luneta e a maior com o outro olho livre, coisa que se pode fazer perfeitamente de uma vez mantendo abertos ambos os olhos. Nesta circunstâncias ambas figuras parecem do mesmo tamanho, se o aparato multiplica os objetos segundo a proporção desejada. Uma vez preparado um instrumento semelhante, dever-se-á buscar o modo de medir as distâncias (entre as estrelas), coisa que se conseguirá com o seguinte artifício"⁽⁵²⁾.

(52) idem

O método apresentado em seguida por Galileo contém a única menção de Galileo, no *Sidereus*, da forma como ele acreditava que os raios refratados se comportavam.

Continua então Galileo: "Para que se compreenda mais facilmente, seja, pois, A B C D o tubo, colocando-se em E o olho do observador. Se o tubo não tivesse lentes, os raios se dirigiriam ao objeto F G seguindo as linhas retas E C F, E D G; mas, ao colocar as lentes, procederão segundo as linhas refratadas E C H, E D I. Assim pois, se aproximam, pelo que os que antes se dirigiam livres ao objeto F G, só abarcam a parte H I. Estabelecendo logo a relação entre a distância E H e a linha H I, encontrar-se-á mediante a tabela dos senos o tamanho do ângulo que o objeto H I forma junto ao olho, comprovando que só mede uns poucos minutos. Se adaptarmos agora à lente C D umas lâminas perfuradas umas



com furos maiores e outras com furos menores, ao superpor uma e outra segundo o que se deseja, formaremos à vontade ângulos distintos que subtende mais ou menos minutos, por meio dos quais nos será possível medir comodamente com um erro de um ou dois minutos, os intervalos das estrelas que distam entre si alguns minutos. Basta por enquanto examinar tão ligei

ramente e provar com a ponta dos lábios estas coisas, pois em outra ocasião faremos pública a teoria completa de tal instrumento" (53).

Devemos notar que, nesta passagem, ao falar da mudança da trajetória dos raios refratados, Galileo não discute a formação da imagem pela lente objetiva, convexa, (onde e como ela se forma), como também não discute a função da ocular côncava (que apresenta os objetos menores que quando vistos a olho nú), nem como os raios se comportariam ao passarem por ela. Aliás na citação acima Galileo parece ignorar a lente côncava, que ele próprio colocou na extremidade do tubo na qual ele aproximaria o olho, (e portanto neste diagrama seria colocada em AB).

Quanto ao método apresentado por Galileo para medir as distâncias entre as estrelas, ele demonstra claramente que Galileo não era nenhum especialista em óptica. Isto porque ao superpor lâminas perfuradas umas com furos maiores e outras com menores não são alterados os ângulos sob os quais os objetos distantes são vistos: o campo de visão é o mesmo independente do tamanho do furo, a colocação do furo apenas reduz a quantidade de luz recebida — e portanto o brilho do objeto observado.

Com isso não quero dizer que Galileo não raciocinou da forma como descreveu. Quero apenas salientar que a des

(53) Galileo, G., Sidereus Nuncius (1610), Opere, vol. III, pp. 60-61, ou The Story Messenger, trad. Drake no Discovery, pp. 28-29, ou El Mensaje y el Mensajero Sideral, trad. S. Santos, p. 40.

coberta do telescópio não foi fruto de um raciocínio dedutivo, mas antes tentativa e erro (conjecturas e refutações).

3.2.3- Discussão em torno das bases teóricas de Galileo para a construção do primeiro telescópio

"A questão histórica da descoberta (ou neste caso (do telescópio) da redescoberta) diz respeito a resultados e não a rigor lógico. (...). Encontramos outras ocasiões em que Galileo fez importantes descobertas por bons raciocínios a partir de su posições infundadas".

Stillman Drake^{*}

Apesar das evidências, por nós apresentadas, de que o telescópio galileano não foi fruto de um raciocínio de dutivo, existe uma passagem no *Sidereus Nuncius* que é geralmente citada por aqueles, como Peter K. Machamer, que tentam apresentar Galileo como um racionalista e como alguém que ti nha bases teóricas suficientes para a construção do telescópio. Nessa passagem Galileo afirma que, logo após a notícia do telescópio ter sido confirmada por Jacques Badovere, ele começa a dedicar-se à invenção do telescópio, o que consegue logo após "tendo como base a teoria da refração (*quam paulo*

^{*} Drake, S., Galileo at work, p. 140.

post, doctrinae de refractionibus innixus assequutus sum). Primeiro preparei um tubo de chumbo, a cujas extremidades adaptei duas lentes de vidro, ambas planas de um lado, enquanto que do outro lado uma era esfericamente convexa e a outra côncava. Então, colocando meus olhos próximos à lente côncava, percebi objetos satisfatoriamente grandes e próximos, pois eles pareciam três vezes mais próximos e nove vezes maiores do que quando vistos só a olho nu. Em seguida, construí outro mais perfeito, que representava os objetos como que aumentados mais do que sessenta vezes" (54).

Muitos autores se referiram a esta passagem, utilizando a tradução para o inglês feita por E.S. Carlos em 1880 (que era única até 1957 quando surgiu a tradução de Stillman Drake, por nós utilizada). A diferença existente entre ambas traduções é que Carlos traduz a primeira linha da citação acima, da seguinte maneira: "através de um profundo estudo na teoria da refração" (55).

Embora a tradução de Drake seja muito mais fiel ao original e seja claramente menos forte que a de Carlos, ela ainda deixa a impressão que Galileo construiu o seu telescópio a partir de uma teoria da refração previamente conhecida.

(54) Galileo, G., Sidereus Nuncius (1610), Opere di Galileo, vol. III, pp. 60-61, El Mensaje y el Mensajero Sideral, trad. C. Solís Santos, pp. 38-39, Discoveries..., S. Drake, p. 28-29.

(55) E.S. Carlos, The Sideral Messenger of Galileo Galilei and a Part of the Preface to Kepler's Dioptrics (London, 1880), p. 10.

Esta afirmação de Galileo é comentada por Drake: "Não havia naquela época uma teoria de refração no sentido moderno, tudo o que Galileo entendia por esta frase eram considerações sobre comprimentos focais das duas lentes, isto é, o raio das suas superfícies esféricas"⁽⁵⁶⁾.

A este respeito Paul K. Feyerabend comenta que as teorias ópticas existentes àquele tempo não bastavam como alicerce teórico, para a construção do telescópio e parte destas teorias tornava duvidosa a confiança que o telescópio deveria merecer depois de inventado. Além disso, a razão teórica alegada por Galileo, a saber o seu conhecimento da teoria da refração⁽⁵⁷⁾ para a construção do telescópio, nem é correta, nem suficiente.

"A razão não é correta, segundo Feyerabend, por existirem sérias dúvidas quanto ao conhecimento de Galileo acerca das partes da óptica física de seu tempo que seriam relevantes para a compreensão dos fenômenos telescópicos. Em uma carta que dirigiu a Giuliano de Medici, no dia 19 de outubro de 1610, mais de seis meses após a publicação do *Sidereus Nuncius*, Galileo solicita um exemplar da *Óptica* de Kepler, publicada em 1604 (Galileo está se referindo ao *Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae Pars Optica Traditur*, Frankfurt, 1604), e assinala que não tinha ainda podido consegui-la na Itália. Jean Tardé, que, em 1614, in-

(56) Drake, S., Galileo at work, p. 140.

(57) Embora Feyerabend tenha utilizado a tradução de Carlos a diferença existente entre esta tradução e o original não invalida o seu argumento.

terrogou Galileo a propósito da construção do telescópio de preestabelecido grau de aumento, relata, em seu diário, que Galileo considerava difícil esta questão e que havia julgado a Óptica publicada por Kepler em 1611* tão obscura que talvez seu próprio autor não tivesse entendido (Geymonat, L., Galileo Galilei, Italia, 1957). Em carta endereçada a Liceti, escrita dois anos antes de sua morte, Galileo observou que, no que lhe concernia, a natureza da luz continuava a ser obscura. Ainda que encaremos estes pronunciamentos com a cautela que se faz necessária no caso de um autor excêntrico, como Galileo, teremos que reconhecer que seu conhecimento de Óptica era muito inferior ao de Kepler" (58).

* A Óptica de Kepler publicada em 1611, corresponde o Dioptrice (Augsburg, 1611), onde é abordado o problema da construção de um telescópio de preestabelecido grau de aumento a que Tardé se refere.

(58) Feyerabend, P.K., Problems of Empiricism, part II, Colody, R. (ed). The Nature and Function of Scientific Theories, pp. 281-282.

A posição de Feyerabend, no que diz respeito ao conhecimento de Galileo acerca das partes da Óptica física de seu tempo relevantes para a construção e utilização do telescópio, foi anteriormente defendida por V. Ronchi em diversos artigos e livros, entre eles: Galileo e il suo cannocchiale, (Boringhieri, Torino, 1964), no Storia del cannocchiale (Cidade do Vaticano, 1964) e também, no Storia della Luce (1939) onde Ronchi afirma, "contrariamente à crença geral, Galileo nunca dedicou muito tempo ao estudo da Óptica ... e isto mostrou ser uma grande vantagem para Galileo. Quando em 1609 ele ouviu rumores acerca de um dispositivo que mostrava os objetos distantes maiores e distintos, sua mente não estava obscurecida pela campanha de prevenção e de desconfiança que a sociedade cultural estava promovendo contra todos os dispositivos ópticos e lentes em particular (ver p. (Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, The Nature..., p. 96)).

Diante destas evidências Feyerabend conclui, juntamente com o Prof. E. Hoppe, que a afirmação de Galileo de que construiu o seu telescópio através de cálculo matemático deve ser, naturalmente, entendida *eum grano salis*, pois que, em seus trabalhos, não encontramos tais cálculos. Além disso, afirma Hoppe, "o relato que em carta, ele (Galileo) faz de seus primeiros esforços, registra que não havia podido dispor de melhores lentes; seis dias depois, vêmo-lo a caminho de Veneza, levando uma peça melhor, para ser dada de presente ao doge Leonardi Donati. Isso não parece cálculo; mas parece tentativa e erro"⁽⁵⁹⁾.

Feyerabend tem razão quando afirma que Galileo não conhecia o *Ad Vitellionem Paralipomena* (1604) de Kepler. Isso pode ser constatado na carta (citada por Feyerabend) que Galileo endereçou a Giuliano De Medici, onde ele expressa sua alegria diante do fato de Kepler ter finalmente podido ver e observar os Astros de Medici por meio de um de seus instrumentos, que havia sido mandado pelo próprio Galileo ao Sereníssimo Eleitor da Colonia, e pelo fato de Kepler desejar de novo escrever sobre esta matéria. Nessa carta encontra-se o seguinte trecho:

"Peço a V.S. Il.^{ma} o favor de mandar-me a *Óptica* de Kepler, e o tratado sobre a Estrela Nova, porque nem em

(59) Hoppe, E., Die Geschichte der Optik, Leipzig, 1926, p. 26, apud Feyerabend, P.K., *Against method*, p.

A posição de Hoppe, no que diz respeito à invenção do telescópio é também a de Wolf, Zinner e outros.

Veneza nem aqui eu os pude encontrar"⁽⁶⁰⁾.

Os escritos anteriores de Kepler sobre a matéria do telescópio a que Galileo se refere nesta carta provavelmente correspondem ao longo comentário sobre o *Sidereus Nuncius* (mais tarde publicado sob o título *Dissertatio cum Nuntio Sidereo*) que Kepler enviou a Galileo em 19 de abril de 1610, por intermédio do embaixador de Toscana Giuliano De Medici. Nele Kepler faz numerosas referências ao seu tratado de Óptica de 1604 e provavelmente venha daí o interesse de Galileo por ele. Galileo acusa o recebimento do '*Dissertatio cum...*' somente dia 19 de agosto, em uma carta dirigida a Kepler (Opere, vol. X).

Feyerabend apresenta duas outras razões para sustentar a sua afirmação de que existem sérias dúvidas quanto ao conhecimento de Galileo acerca das partes da Óptica física de seu tempo que seriam relevantes para a compreensão dos fenômenos telescópicos. Quanto à primeira delas (as anotações de Jean Tardé em seu diário sobre seu encontro com Galileo em 1614), é certo que Galileo se encontrou com Jean Tardé, um cônego francês, por duas vezes durante o ano de 1614, conversando sobre as manchas solares e a maneira de fazer poderosos telescópios de preestabelecido grau de aumento - conforme Tardé relatou em seu diário⁽⁶¹⁾. São corretas também as

(60) Carta de Galileo a Giuliano De Medici (in Praga), Firenze, 19 ottobre 1610; Le Opere, vol. X, p. 441, (Firenze: G. Barbera Editore, 1834, XII).

(61) Tardé, J., Dal Diaria del Viaggio Di Giovanni Tardé in Italia, Opere, XIX, p. 590.

afirmações de Feyerabend sobre o conteúdo do relato de Jean Tardé deste episódio.

Aparentemente , Galileo não parecia inclinado a dar assistência ao desconhecido francês. Segundo Drake, isto se deve ao fato de Galileo estar sendo alvo da calúnia estrangeira e da pretensão rival.

A desconfiança de Galileo de seu visitante francês confirmou-se ser, na verdade, bem fundada uns poucos anos depois, quando, segundo S. Drake, Tardé "apagou (de seu diário) as anotações sobre as manchas solares e publicou dois livros, um em latim e um em francês, citando as manchas solares as *Bourbon Stars* e afirmando (parece que Scheiner antes dele) que eles tinham descoberto recentemente estrelas que circundavam o Sol"⁽⁶²⁾, não fazendo qualquer referência a Galileo. Deste episódio de 1614, no diário de Tardé, só restaram as anotações sobre o telescópio.

Devido a esta desconfiança de Galileo creio que as anotações de Tardé devem ser tomadas com cautela. Elas podem não representar o real conhecimento e opinião de Galileo.

A outra razão apresentada por Feyerabend diz respeito a uma carta que Galileo escreveu a Liceti, dois anos antes de morrer, onde declara que ainda não havia compreendido a natureza da luz.

De fato, em uma carta a Liceti, datada de 23 de junho de 1640, Galileo afirma: "Foi finalmente encontrado, ..., o livro com o qual V.S. muito Ilmo. e Excel. me honrou

(62) Drake, S., Galileo at work, pp. 237-238.

mandando-o. Imediatamente mandei encaderná-lo, mas não o tive de volta. Vou estudá-lo com esperança de poder em breve entender aquilo que pensando muitas e muitas centenas de horas não consegui compreender — falo da essência da luz ..., e entender qual o modo como um punhado de pólvora de artilharia, fria e negra, encerra vinte tiros de fogo e muitos milhões de luzes."(63).

Esta carta faz parte da correspondência que Galileo manteve com Liceti durante o ano 1640, após a publicação do livro de Liceti sobre a pedra Bolonhesa⁽⁶⁴⁾ no qual é atacada a explicação, dada no *Sidereus Nuncius* e no *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, sobre a luz secundária da Lua vista no quarto crescente como a reflexão da luz solar pela Terra. O Príncipe Leopoldo, embora considerando frívolo o argumento de Liceti para merecer réplica, pede a opinião de Galileo. Ela é dada por meio de um longo tratado em forma de carta ao Príncipe Leopoldo, cujas cópias circularam por vários meses, até que Liceti pediu uma para poder responder formalmente.

Creio que também as declarações de Galileo a Liceti devem ser tomadas com cautela, já que na carta em questão não fica claro o que ele pretendeu dizer com não ter compreendido a "essência da luz".

(63) Carta de Galileo a Fortunio Liceti (in Padova) Arceetri, 23 giugno 1640; *Le Opere*, vol. XVIII, pp. 208-209, (Firenze: G. Barbera Editore, 1934, XII).

(64) A pedra bolonhesa era um mineral capaz de absorver luz solar e então brilhar no escuro.

Porém, ainda que desprezemos as duas últimas razões que Feyerabend apresenta, fato é que Galileo, antes de construir seu primeiro telescópio, não conhecia a obra sobre óptica de Kepler de 1604 (*Ad Vittellionem Paralipomena*).

Embora Machamer reconheça que até 1610, Galileo ainda não estava familiarizado com a óptica de Kepler de 1604, Machamer contesta a afirmação de Feyerabend, que só a teoria óptica de Kepler poderia ter sido útil a Galileo na sua construção e justificação do telescópio como um instrumento seguro para o estudo do céu.

A visão de Machamer sobre o contexto da descoberta do telescópio é compartilhada por outros autores, como E.J. Dijksterhuis, segundo o qual a construção do telescópio (e do microscópio) foi fruto do desenvolvimento da óptica geométrica⁽⁶⁵⁾.

(65) a este respeito ver: o artigo do Machamer já indicado e Dijksterhuis, E.J., The Mechanization of the World Picture, trans. C. Dikshoorn (Oxford: Clarendon Press, 1961), p. 360.

A. Koyré, embora sem entrar em detalhes sobre a invenção galileiana do telescópio, parece concordar com nossa interpretação. Afirma Koyré: "É, naturalmente, possível, embora muito pouco verossímil, que o gênio desconhecido que inventou as (primeiras) lunetas (anteriores às galileanas) tenha sido conduzido por considerações teóricas; por outro lado, é certo que essa descoberta em nada influenciou o desenvolvimento da ciência óptica da Idade Média, enquanto que esta última, o que quer que Roger Bacon tenha podido dizer, não foi a origem, nem da tecnologia óptica, nem da construção de instrumentos ópticos. No século XVII, pelo contrário, a invenção do telescópio foi a causa de um desenvolvimento da teoria, tendo sido seguido pelo progresso da técnica" (Koyré, A., Les origines de la science moderne, une interprétation nouvelle. Études D' Histoire de la pensée scientifique, p. 75.

Machamer, na sua crítica à leitura feyerabendiana do desenvolvimento do telescópio, tenta demonstrar que a história do telescópio se desenvolveu de maneira muito diferente daquela relatada por Feyerabend e por nós confirmada.

Segundo Machamer, não se deve rejeitar, como fez Feyerabend, a passagem do *Sidereus Nuncius* onde Galileo afirma ter construído seu telescópio com base no seu conhecimento da teoria da refração, porque as razões que Feyerabend apresenta para esta rejeição, são, segundo Machamer, falsas. Primeiro, é falsa a afirmação geral de que Galileo não conhecia óptica; e, segundo, é falsa a afirmação de que a teoria óptica tradicional com a qual Galileo estava familiarizado não estava suficientemente desenvolvida para oferecer uma base teórica para a construção e utilização do telescópio. Logo, a conclusão feyerabendiana de que o telescópio de Galileo foi construído somente através do método da tentativa e erro, também é considerada por Machamer como falsa.

Para tentar demonstrar a falsidade da primeira afirmação de Feyerabend, Machamer descreve exhaustivamente o treinamento que Galileo recebeu, afirmando que "seu estudo de matemática incluía o estudo de óptica ou perspectiva"⁽⁶⁶⁾ já que Ostilio Ricci, responsável pelos primeiros estudos de Galileo sobre matemática, ensinava a seus alunos matemática e teoria e prática de perspectiva.

Segundo Machamer não há muito que duvidar que o "treinamento de Galileo em perspectiva venha de trabalhos da

(66) Machamer, P., Feyerabend and Galileo..., p.

tradição técnica-artística do século XV e XVI. Esses trabalhos, especialmente aqueles de Albert, estavam baseados extensivamente sobre e eram muito similares àqueles dos antigos Ópticos, como Peckham, Alhazen e Witelo"⁽⁶⁷⁾. Portanto, conclui Machamer, quem quer que tivesse estudado óptica naquele tempo estaria familiarizado com o corpo da teoria óptica tradicional que incluía Alhazen, Roger Bacon, Witelo e principalmente Peckham, que foi "um texto tradicional de óptica elementar por muito tempo depois da sua composição (1270) ... e incluído no curriculum de muitas universidades"⁽⁶⁸⁾, sendo Kepler apenas uma parte deste corpo teórico.

A este respeito Feyerabend responde no Apêndice II do seu livro *Against Method: "Sancta simplicitas! ... ao dizer que Galileo desconhecia a óptica, não quiz dizer que ele desconhecesse o bê-a-bá da óptica (que a luz se propaga em linha reta que se reflete a ângulos iguais, e os fundamentos básicos da triangulação). Pretendia afirmar que ignorava as partes da óptica que, no tempo em causa, eram necessárias para a construção do telescópio"(69), a saber: a) o conhecimento das imagens produzidas por lentes, e b) o conhecimento das coisas vistas através de uma lente.*

Esta última afirmação de Feyerabend corresponde à segunda afirmação negada por Machamer, para quem Galileo, em virtude do seu treinamento, conhecia a teoria óptica tradi-

(67) Machamer, P., Feyerabend and Galileo..., p. 14.

(68) Machamer, P., Feyerabend and Galileo..., p. 17.

(69) Feyerabend, P.K., Against method, p.

cional, a qual oferecia bases teóricas suficientemente fortes para a construção do telescópio.

Para defender este ponto Machamer faz uma listagem das várias teorias ópticas existentes naquele tempo (Alhazen, Bacon, Witelo, Peckham, della Porta, Maurolico) e tenta, a partir de alguns pontos destas teorias, reconstruir o raciocínio que Galileo poderia ter feito, supondo o seu conhecimento destes autores. Porém, nenhum texto de Galileo sustenta diretamente a reconstrução da linha de raciocínio sugerida por Machamer.

Embora Machamer diga estar ciente disto, ele considera que o raciocínio por ele sugerido era suficientemente incipiente que poderia ter sido feito por qualquer pessoa que tivesse estudado algo de óptica.

Na parte principal, a reconstrução, proposta por Machamer, seguiu a tradição de Alhazen e Maurolico.

"Uma lente convexa era (afirma Machamer na sua reconstrução) a primeira componente do telescópio já que ela coletaria os raios pela refração, levando os raios do objeto visível para o olho sob um ângulo maior. O aumento resultaria do objeto subtender um ângulo maior junto ao olho do observador. Esta era explicação tradicional para o funcionamento de uma lente convexa" ^{*}.

^{*}R. Bacon, Opus Maius, R.B. Burke trans. (Philadelphia: University of Pennsylvania 1928) p. 5-74, Witelo, citado por A.C. Crombie, Robert Grosseteste (Oxford, 1961), p. 226, referência é Vitellionis Opticae, iii,52,109; G. della Porta, De Refractione, Livro VIII; F. Maurolico, Photisme de Lumine; M. Crew, trans. (New York: Macmillan, 1940), pp. 110-12.

"A próxima questão a ser respondida é porque Galileo usou uma lente côncava como ocular? Nós sabemos (continua Machamer) da correspondência de Sagredo que os telescópios construídos por Galileo tinham quase o mesmo comprimento que o comprimento focal da lente objetiva usada no telescópio. Sendo este o caso, se uma ocular convexa fosse usada os raios viriam para um foco antes de atingirem o centro do olho - a lente cristalina. Para evitar que isso acontecesse, Galileo provavelmente raciocinou que uma lente convexa* era necessária para impedir que os raios chegassem a um ponto muito cedo. Uma lente côncava fraca curvaria os raios exatamente o suficiente para permitir que os raios chegassem ao centro do olho. Que os raios tinham que chegar a um ponto junto ao centro do olho Galileo poderia ter aprendido do trabalho de Maurolico. Maurolico tinha escrito anteriormente que para a visão ocorrer os raios de um objeto deviam vir para um ponto na câmara escura do olho"⁽⁷⁰⁾.

Machamer reconhece que é apenas uma especulação que Galileo estava familiarizado com o trabalho de Maurolico. Ele sustenta esta especulação sobre duas evidências, a primeira é que o manuscrito do *Photismi de Lumine*, de Maurolico, estava aos cuidados de, e em 1611 foi editado por, Christopher Clavius, com quem Galileo manteve correspondência desde 1588.

* aqui deve ter ocorrido um erro de impressão, Machamer provavelmente queria dizer lente côncava.

(70) Machamer, P., Feyerabend and Galileo, pp. 19-20.

A outra evidência, apontada por Machamer, corresponde a certas passagens paralelas encontradas no *Dialogo* de Galileo e no texto de Maurolico.

Mesmo que Galileo não estivesse familiarizado com o trabalho de Maurolico, ainda assim Machamer considera que haveriam bases para adição de uma lente côncava em vez de uma convexa. "Alhazen tinha apontado que para a visão ocorrer um raio de cada ponto do objeto visual devia chegar à lente cristalina (a fotoreceptora para o olho). Se os raios viessem para um ponto muito próximo da objetiva esta recepção dos raios pela lente não ocorria"⁽⁷¹⁾.

Em qualquer caso, conclui Machamer, a teoria óptica, que Galileo estava familiarizado, e a teoria da visão associada a ela, ditavam que uma lente côncava fraca seria usada para ocular do telescópio.

Feyerabend na sua resposta a Machamer não se ocupa da parte da reconstrução deste último que trata das lentes côncavas. Acreditamos, contudo, que é importante analisar se a literatura indicada por Machamer sustenta ou não esta parte da sua reconstrução.

A nosso ver devemos reconhecer que a teoria de Alhazen sobre o funcionamento do olho era bastante elaborada em relação às outras teorias contemporâneas.

O próprio V. Ronchi, um dos opositores de leituras do tipo da de Machamer sobre a invenção do telescópio, comentando a teoria da visão de Alhazen, afirma:

"Estabelecendo a partir da descrição geral do olho dada por Galileo e supondo que as várias camadas transparentes são concêntricas e que a lente cristalina, situada no centro do olho, era o centro do sentido da visão, Alhazen re exami-

(71) Machamer, P., Feyerabend and Galileo, p.20.

nou o conceito da pirâmide da perspectiva de Euclides. Ele reconstruiu-a com aqueles raios que partem dos pontos simples do objeto e chegaram, em ângulos retos, na superfície do olho, e como uma consequência ele colocou o ápice da pirâmide no centro do olho"⁽⁷²⁾.

Alhazen fez algumas outras descobertas sobre a visão, como por exemplo que os objetos são visíveis ainda que eles estejam em tal posição que os raios normais de seus vários pontos não possam chegar à córnea. Ele explicou tudo isso pela refração dos raios que entram no olho por vários ângulos e finalmente chegou a conclusão, de acordo com Ronchi, é "que toda visão ocorre devido à refração"⁽⁷³⁾.

Embora devamos reconhecer que Alhazen foi o verdadeiro fundador do que hoje conhecemos como óptica fisiológica, o mecanismo da visão, ainda, não estava completamente explicado. Certamente podemos derivar de Alhazen que a visão de um objeto ocorre quando um raio de cada ponto deste chega

(72) Ronchi, V., Storia della Luce, 1939, trad. Barocas, V., The Nature of Light, 1970, p. 51.

Devemos notar que nesta passagem Alhazen sugere que a impressão da imagem ocorre sobre a superfície da lente cristalina, embora ele conhecesse a retina e sua estrutura nervosa. Isto ocorreu, segundo Ronchi, devido a "considerável dificuldade (que) teria sido criada se ele tivesse feito os raios atravessarem além da lente cristalina e portanto além do centro do olho. A ordem da imagem teria sido invertida e sobre a retina tudo teria ficado de cabeça para baixo" (Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, V., The Nature..., p. 52.

(73) Ronchi, V., Storia della Luce (1939), trad. Barocas, The Nature of Light, p. 52.

a lente cristalina. Porém a conclusão da necessidade do uso de uma lente côncava fraca como ocular do telescópio não segue do estudo de Alhazen.

Segundo Crombie, "o primeiro a mostrar corretamente como a lente focava os raios sobre a retina foi Maurolico, um seguidor de Roger Bacon, Peckhan e Witelo, e como resultado ele foi capaz de explicar a miopia e hipermetropia e o uso de óculos convexos e côncavos. Mas Maurolico não poderia entender que esta focalização da luz formava uma imagem real sobre a retina, porque não poderia entender a imagem invertida"⁽⁷⁴⁾.

Porém, como já foi notado, no item 3.2.2, ninguém menciona os manuscritos de Maurolico, nem mesmo Porta e Kepler, o que não levou a concluir, que ele foi um precursor isolado, que não foi entendido. O que ele escreveu, em 1554, permaneceu desconhecido até sua publicação em 1611.

Portanto creio que não procede a especulação, feita por Machamer, de que Galileo estava familiarizado com os trabalhos de Maurolico. Quanto às evidências apresentadas por Machamer temos que: o fato dos manuscritos de Maurolico estarem aos cuidados de um amigo de Galileo não implica que Galileo tivesse tido acesso a estes manuscritos. Mesmo porque em toda a correspondência entre Galileo e Clavius não é encontrada qualquer menção, nem da parte de Galileo, nem de Clavius, dos manuscritos de Maurolico.

A outra evidência, apresentada por Machamer, é ain

(74) Crombie, A.C., Robert Grosseteste..., (1971), p. 281.

da mais frágil, isto porque as passagens, dos textos de Galileo e Maurolico, apontadas por ele, como sendo paralelas encontram-se no *Dialogo* (de Galileo), publicada em 1632, e no *Photismi de Lumine* (de Maurolico) publicado em 1611. Certamente este fato não evidencia um possível conhecimento de Galileo dos manuscritos de Maurolico antes de 1610.

Portanto a parte da reconstrução proposta por Machamer que pressupõe o conhecimento de Galileo dos trabalhos de Maurolico não é válida, já que não há nenhuma evidência de que Galileo estivesse familiarizado com estes trabalhos.

Quanto a primeira parte da reconstrução proposta por Machamer, que diz respeito ao uso da lente convexa como objetiva, ^{como notou Feyerabend,} temos que nenhum dos textos citados por Machamer apresenta qualquer teoria sobre a formação de imagens em lentes ou sistemas de lentes, que pudesse servir de base para a construção do telescópio.

Além deste argumento de Feyerabend podemos acrescentar que o mais próximo que os autores medievais chegaram da

"análise geométrica das lentes foi (de acordo com D. Lindberg) a discussão das esferas (ou cilindros) que ardiam. É verdade que Alhazen e Witelo descreveram uma peça de vidro ou cristal plano convexa (isto é, semi-cilíndrica) para ser usada em conexão com seus aparatos de refração, mas esta foi arranjada de tal forma que a refração ocorria somente na superfície plana. Não foi empregada como lente, e as trajetórias dos raios através dela não foram traçadas"⁽⁷⁵⁾.

(75) Lindberg, D., A Source Book in Medieval Science, Grant, E., ed., p. 430n.

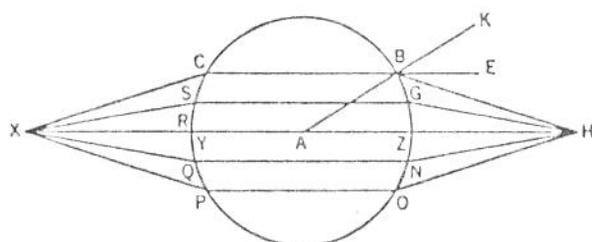


FIGURA VIII - Diagrama de John Peckham ilustrando a trajetória dos raios do Sol ao atravessarem uma esfera de cristal de diâmetro YAZ. Esta figura faz parte da demonstração da (prop.) 16 da parte III do Perspectiva communis de Peckham, segundo a qual "o fogo pode ser acendido pela convergência dos raios refratados" (Peckham, J., Perspectiva communis (1270)) (ed. e trad. David C. Lindberg, John Pechan and the Science of Optics) (Madison: University of Wisconsin, 1970, p. 230).

O próprio texto de Crombie, indicado por Machamer, afirma apenas que "Witelo, tendo dado uma explicação da luz em diferentes superfícies, seguiu para a discussão das propriedades das lentes convexas e côncavas. Destas ele parece ter tido apenas um conhecimento teórico, e sua explicação vem em grande parte de Alhazem e talvez de Roger Bacon, embora ele tenha feito algumas observações originais sobre a magnificação de objetos sob a água"⁽⁷⁶⁾.

(76) Crombie, A.C., Robert Grosseteste..., (1971), p. 226.

Porém Machamer considera que "Quem quer que houvesse lido Peckham ... saberia que todo instrumento óptico feito à base de lentes seria explicável em termos de leis ópticas - as leis de refração (em uma forma inacabada então corrente) e a natureza da luz"⁽⁷⁷⁾.

Feyerabend comenta esta afirmação de Machamer nos seguintes termos: "De nosso lado, vimos que 'quem quer que houvesse lido Peckham' teria chegado a conclusão inteiramente diversa..."

"Machamer, que vê as leis da refração como suficientes para o entendimento do telescópio, que tacitamente adota o ponto de vista de Kepler e o projeta de volta a Peckham (que havia argumentado contra uma simplificada versão desse ponto de vista) não tem percepção do muito que significou a transição que levou das antigas maneiras de ver para as concepções de Kepler e Descartes. Com efeito, embora as (errôneas) idéias de Kepler possam parecer simples a um historiador da ciência que, no século XX, assimilou-as sem exame, a *invenção* de tais idéias, nas circunstâncias históricas por mim descritas, esteve longe de ser simples"⁽⁷⁸⁾.

Para analisar as objeções de Feyerabend à idéia de que o telescópio foi inventado a partir de considerações teóricas e a defesa desta feita por Machamer, precisamos verificar quais seriam os mínimos elementos da óptica necessários, ainda que não suficientes, para o embasamento teórico do te-

(77) Machamer, P., Feyerabend and Galileo, p. 18.

(78) Feyerabend, P.K., Against Method, apêndice II, p.

lescópio. São eles:

1) teoria da formação de imagens através de lentes ou sistema de lentes.

2) teoria que possibilitasse o conhecimento dos próprios objetos a partir das suas imagens vistas através de lentes.

No que se refere ao primeiro ponto, ele só foi plenamente atingido em 1611, quando Kepler publicou o seu *Dioptrice* cuja elaboração teórica havia sido iniciada no seu *Ad Vitellionem Paralipomena*.

De acordo com esta teoria de Kepler o lugar da imagem de um objeto puntiforme é determinado, até o momento de alcançar o olho do observador, de acordo com as leis de refração ou reflexão (portanto por meio do traçado da trajetória dos raios que emergem do objeto e vão até o olho do observador). Em seguida "a imagem será vista no ponto determinado pela intersecção interna dos raios de visão de ambos os olhos"⁽⁷⁹⁾ ou, "no caso da visão monocular, dos dois lados da pupila"⁽⁸⁰⁾.

Na óptica de 1604, embora não seja encontrado nem um tratamento quantitativo e definitivo da teoria da refração (falta uma lei do seno de refração) nem qualquer tipo de fundamento teórico para adequado estudo de sistema de lentes

(79) Kepler, J., Ad Vitellionem Paralipomena (1604), p. 72.

(80) Kepler, J., Ad Vitellionem Paralipomena (1604), p. 67.

que possibilitasse a construção do telescópio (como é encontrado no *Dioptrice* de 1611), são apresentadas algumas considerações teóricas, que poderiam capacitar um seu conhecedor a construir o telescópio da forma como Galileo parece indicar. Porém, como vimos, Feyerabend tem razão quando afirma que, Galileo não tinha conhecimento do *Ad Vitellionem Paralipomena*, 1604 de Kepler.

O segundo elemento necessário para o embasamento teórico da construção do telescópio era uma teoria que possibilitasse o conhecimento do objeto mesmo a partir da imagem vista através de lentes. Não encontramos qualquer obra de óptica anterior a 1610 que abordasse este ponto.

Mesmo os manuais altamente sofisticados, como o *Perspectiva communis*, de John Peckham, publicado em 1270 e que foi adotado como texto básico de óptica elementar pelas universidades do século XIV a XVI⁽⁸¹⁾, não discutem este ponto. Por exemplo, na parte III do *Perspectiva communis*, dedi-

(81) Peckham, J., *Perspectiva communis* (1270) (ed. e trans. David C. Lindberg) *John Peckham and the Science of Optics* (Madison: University of Wisconsin, 1970) pp. 60-239.

Machamer, comentando este livro, afirma que: "A popularidade do texto serve para documentar a aceitação das visões nele contidas" (Machamer, P., *Feyerabend and Galileo...*, p. 17).

cado à visão pelos raios refratados⁽⁸²⁾, Peckham não apresenta nenhuma lei quantitativa da refração e nenhum dado numérico.

Segundo David Lindberg, "Peckham meramente descreve o fenômeno em termos qualitativos: quando um raio incide obliquamente sobre um meio mais denso (menos transparente), ele é refratado e se aproxima da perpendicular e quando incide obliquamente sobre um meio menos denso (mais transparente) ele é refratado para longe da perpendicular. O ângulo de refração (com o que Peckham parece designar o ângulo de desvio) varia de acordo com a inclinação do raio incidente e a diferença na densidade entre os dois meios"⁽⁸³⁾ (ver Peckham, proposições I.15 {30}, I.16 {31} e III.3.).

Um ponto que não foi enfatizado por Feyerabend é que embora Peckham dedique muita atenção ao problema da formação de imagem de raios refratados (e refletidos), a sua teoria da formação de imagens – de acordo com a qual a imagem aparece na intersecção da perpendicular à superfície desenhada a partir do objeto e a extensão retilínea do raio que chega ao olho (ver Figura IX) – é incompatível com sua

(82) Segundo D. Lindberg "a explicação da refração de Peckham não é notavelmente original, mas é desenvolvida a partir de (Roger) Bacon e Alhazen. No entanto Peckham não segue nenhum deles fielmente. Ele segue Bacon para tentar preencher as várias lacunas do argumento de Alhazen, enquanto censura Bacon pelos termos animistas nos quais esta visão era expressa" (Introdução de D. Lindberg no Perspectiva communis de J. Peckham, p. 50).

(83) Lindberg, D., John Peckham and the Science of Optics, p. 49.

teoria geral da visão - segundo a qual o único requisito para a visão clara é o arranjo ordenado sobre a superfície do humor glacial (orgão sensitivo) dos raios do objeto visível.

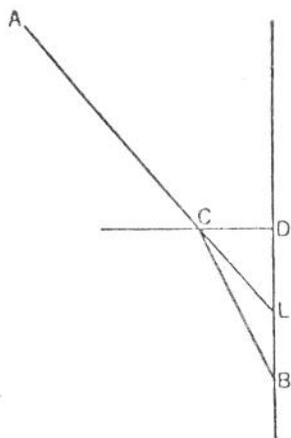


FIGURA IX - Esquema de Peckham da formação de imagens a partir de raios refratados, onde "A é o olho, B o objeto visível, BC a extensão do raio, (refratado em C, a partir do qual (ponto) origina-se (o raio) C A) que apresenta o objeto ao olho, e BLD a perpendicular. Eu digo que B aparece em L" [Prop III, 4].

A incompatibilidade destas duas teorias, (segundo Lindberg), é evidente particularmente na proposição II.39, onde a aplicação da primeira regra determina que a imagem de um certo objeto visto pela reflexão estaria localizado no ou atrás do olho do observador. Em tal caso, Peckham insiste, nenhuma imagem clara poderá ser percebida, pois "o olho não é projetado para receber as formas das coisas exceto se elas estão opostas a face. Portanto as coisas que aparecem de outro modo devem ser de aparência confusa e duvidosa" (Prop. II.49). Embora a partir do ponto de vista da óptica geométrica

ca moderna esta seja uma conclusão correta, como pode ser reconciliada com o requisito de Peckham de que para a percepção clara dos raios de um objeto necessita-se apenas manter a mesma ordem sobre o humor glacial que os pontos sobre o objeto a partir do qual eles originam? No particular exemplo citado na proposição II.39, o requerimento da ordem está completamente satisfeito. Realmente Peckham evita encontrar-se diretamente com este problema ocupando-se com a formação de imagem de um ponto de cada vez; conseqüentemente ele nunca considera mais do que um único raio perpendicularmente incidente sobre o humor glacial de cada vez, e o resultado da ordem dos raios não é explicitamente levantado. Na verdade, toda esta contradição não é resolvida a não ser com a compreensão de que os raios emanando de um único ponto do objeto são levados para um foco dentro do olho pelo poder de refração do humor glacial - um conceito que não foi entendido por qualquer pessoa no Ocidente por outros trezentos anos"⁽⁸⁴⁾.

Além disso, no que se refere à discussão da refração em superfícies hemisféricas, côncavas e convexas, tudo o que é encontrado no texto de Peckham são as seguintes proposições:

"(Proposição 9). Um objeto visível localizado em um meio transparente mais denso de uma superfície hemisférica com sua convexidade para o olho pode parecer maior, menor ou igual ao seu tamanho real".

(84) Lindberg, D., John Peckham and the Science of Optics, (introdução), p. 51.

"Isto é evidente a partir de duas considerações. (Primeiro) as linhas perpendiculares à esfera não são paralelas, como são quando elas incidem sobre um plano, mas pelo contrário, atravessam o centro. Além disso, é claro que a pirâmide (formada pelas perpendiculares, com o vértice junto ao centro da esfera) sempre alarga quando ela procede de seu vértice a partir do seu vértice. (...) Agora a intersecção da (extensão retilínea dos) raios com esta pirâmide pode estar no lado próximo do objeto visível, isto é, a uma distância maior do centro de esfera do que do próprio objeto visível; o objeto então parecerá maior do que ele é.

... ou a intersecção das perpendiculares acima mencionadas e os raios podem estar no lugar do próprio objeto visível - e então o objeto parecerá no seu verdadeiro lugar e com seu tamanho real - ou, a terceira possibilidade, pode estar mais afastado do olho e mais próximo do centro da esfera (isto é, o vértice da pirâmide acima) do que está do objeto. Portanto, já que os diâmetros transversais da pirâmide são menores quando eles aproximam-se do vértice, o objeto parecerá menor (do que seu verdadeiro tamanho) lá. Por exemplo, seja ABC (Figura X) um hemisfério transparente, DE um objeto visível, e F o centro da esfera. E desde que a intersecção acima mencionada pode estar entre F e DE, do outro lado de DE, ou sobre a linha DE, segue o que foi dito acima".

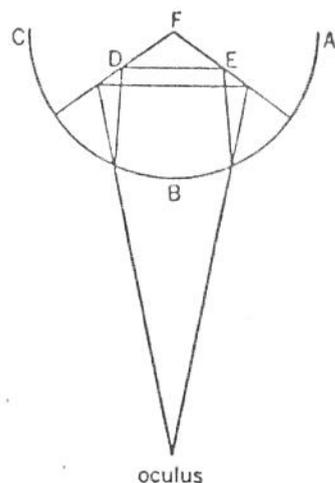


FIGURA X

(A outra proposição que trata de refração em superfícies hemisféricas é):

"(Proposição 11). O que ocorre quando a concavidade do meio transparente mais denso é para o olho, é o oposto àquilo que ocorre quando a convexidade é para o olho.

Pois um objeto parece maior ou menor de acordo com o tamanho do diâmetro da pirâmide (formada pelas perpendiculares acima mencionadas) (no lugar) onde a intersecção (com os raios) ocorre; e já que a intersecção pode ocorrer em três modos diferentes, segue que o tamanho do objeto, como percebido pelo olho, pode variar em três modos: é maior (do que o tamanho real do objeto) quando o ponto de intersecção está mais próximo do que o objeto do olho, igual quando a intersecção é junto com o objeto, e menor quando a intersecção é mais distante do olho que do objeto"⁽⁸⁵⁾.

(85) Peckham, J., Perspectiva communis, pp. 219-223.

Ambos, enunciados e demonstrações das proposições 9 e 11 apresentados por Peckham, são incorretos. A partir das condições estabelecidas na proposição 9, o objeto sempre aparecerá maior do que seu real tamanho. Porém de acordo com a teoria de Peckham de formação de imagens através de superfícies hemisféricas convexas as três situações mencionadas acima são possíveis. No que se refere a proposição 11, ela também indica a direção equivocada, já que apenas uma das situações, por ela previstas, ocorrerá a imagem parecerá menor que o objeto.

Como vemos o trecho do *Perspectiva* de Peckham, que trata da refração em superfícies hemisféricas concavas e convexas, não trata nem da refração através de pequenos segmentos de esfera de foco longo, nem da observação de objetos distantes⁽⁸⁶⁾.

A única discussão presente no *Perspectiva*, como dissemos anteriormente, que mais aproxima-se da análise geométrica dos raios refratados corresponde à proposição 16 da Parte III, segundo a qual o fogo pode ser acendido pela convergência dos raios refratados.

"Por exemplo (afirma Peckham), deixe haver uma esfera de cristal de diâmetro YAZ (Figura XI) e deixe os raios XC, XS, XR, XQ e XP incidirem sobre ela a partir do Sol. É certo que só XR incide no centro A e segue não refratado até H. Portanto os outros são refratados para a perpendicular e

(86) Devemos notar que o livro de Peckham foi escrito antes da invenção das lentes de óculos.

incidem de C para B, de S para G, de Q para N, e de P para O. Conseqüentemente, o raio CB chegando à superfície côncava de ar não segue diretamente para E, mas é refratada para longe da perpendicular BK para H, e o mesmo ocorre com os outros raios. Quando estes raios tiveram sido reunidos e o ar tiver tornado-se rarefeito, o fogo é acendido (exatamente) além do fim de suas espécies" (87).

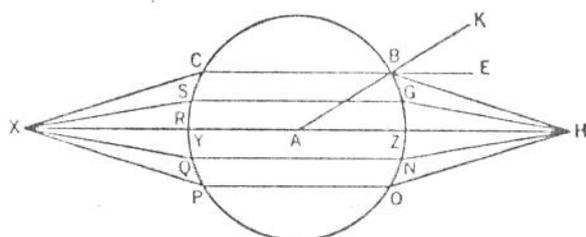


FIGURA XI

Porém o comportamento óptico destas esferas de vidro é bastante mais complexo que o de pequenas seções de esferas de vidro (ver nota 23). O que nos leva a crer Galileo não partiu da análise, dos ópticos do século XIII, dos raios refratados através de esferas de cristal para deduzir o comportamento dos raios refratados através de lentes côncavas e convexas.

(87) Peckham, J., Perspectiva communis, p. 231.

Com respeito a uma teoria que possibilitasse o conhecimento do próprio objeto, a partir de suas imagens vistas através do telescópio, o texto de Peckham aponta para a direção equivocada, tornando duvidosa a confiança que o telescópio deveria merecer depois de inventado. Isto pode ser evidenciado na seguinte proporção de Peckham sobre refração:

"(Proposição 8). É impossível certificar o tamanho de um objeto visto sob o efeito de raios refratados. (*Rei vise sub radiis fractis impossibile est certificari quantitatem*)".

"A razão para isto é que, para a certificação do tamanho são requeridos o conhecimento da distância e do ângulo da pirâmide (o ângulo sob o qual o objeto é visto) (mas) ambos os dados estão faltando porque o raio que age sobre o olho é refratado, portanto altera o ângulo. Segue que o tamanho das estrelas não é conhecido com completa veracidade já que o Céu é um corpo muito mais sutil que o ar ou o fogo"⁽⁸⁸⁾.

Diante das nossas considerações acerca do estudo de óptica no final da Idade Média, temos que as teorias ópticas até o século XIII não apresentavam qualquer idéia clara acerca do funcionamento das lentes ópticas. A reação geral do mundo científico medieval para com as lentes, como afirma Ronchi, "é justificada com o seguinte. Da escassa literatura existente acerca de lentes quando as pessoas começaram a escrever acerca delas, nós podemos detectar a grande deficiên-

(88) Peckham, J., Perspectiva communis, p. 217.

cia do mundo filosófico sobre elas. A palavra ilusão aparece quase que continuamente. O raciocínio clássico pode ser resumido assim. A finalidade do órgão da visão é conhecer a verdade, a saber a real estrutura do mundo exterior, pela representação para a nossa mente da forma, posição e cores dos corpos que o constituem. Isto ocorre ou por meio de raios visuais que são emitidos pelos olhos adiante para explorar os objetos, ou por meio das *espécies* que são mandadas para o olho do observador pelos objetos quando eles são iluminados. O melhor modo de se aprender a verdade é não alterar a forma retilínea dos raios nem a trajetória regular das espécies. A introdução de espelhos, prismas e lentes em sua trajetória produz inevitavelmente uma alteração da verdade e estes instrumentos fazem ver figuras onde o objeto material não está e frequentemente fazem aumentá-las ou reduzi-las, invertê-las, distorcê-las, duplicá-las e colorilá-las. É tudo um truque e uma ilusão, todo significado óptico deve ser eliminado se nós realmente queremos aprender a verdade"⁽⁸⁹⁾.

Portanto o raciocínio que Galileo apresenta no *Il Saggiatore* como aquele que o levou a construção do telescópio (ver p. desta tese), além de logicamente não necessário, não segue imediatamente dos textos tradicionais de óptica, como o de Peckham, particularmente não segue das proposições de Peckham sobre a formação de imagens por raios refratados em superfícies hemisféricas côncavas e convexas.

Além disso, de acordo com a proposição 8 é impossível

(89) Ronchi, V., Storia della Luce, 1939, trad. Barocas, V., The Nature of Light, 1970, p. 73.

vel se conhecer um dado relevantíssimo para as observações telescópicas, a saber o tamanho dos objetos visíveis.

Portanto nenhum dos dois elementos teóricos necessários para a compreensão do telescópio foi elaborado em pormenor e jamais se viram combinados para constituir um corpo coerente de teoria antes de 1610, donde podemos concluir que as teorias ópticas então existentes (exceto o *Ad Vitellionem Paralipomena*, 1604 de Kepler, não conhecido por Galileo) não ofereciam bases teóricas suficientes para a construção do telescópio.

Galileo não construiu o seu instrumento a partir de uma teoria previamente estabelecida mas antes por pura experimentação óptica, por tentativa e erro.

A este respeito é sugestiva a declaração de Kepler no seu *Dissertatio cum Nuntio Sidereo* onde dá suas razões por que, a despeito de seu conhecimento muito maior que o de Galileo, a respeito de óptica, "deixou de tentar construir o aparelho": "Você, entretanto" (dirige-se a Galileo) "merece cumprimentos. Libertando-se de todos os receios, voltou-se diretamente para a experimentação visual"⁽⁹⁰⁾.

(90) Kepler, J., Dissertatio cum Nuntio Sidereo, trans. E. Rossen in Conversation..., p. 18.

Embora Simon Mayr tenha afirmado que seu amigo Kepler conseguiu um telescópio em novembro de 1609; ele, na verdade não obteve nenhum no início.

Feyerabend justifica este insucesso de Kepler afirmando que este não construiu um telescópio exatamente devido ao seu profundo conhecimento de óptica, que o impediu de 'libertar-se de todos os receios e voltar-se diretamente para a experimentação ótica'.

Huygens no seu *Dioptrica* assinala que "seria necessário inteligência sobre-humana para inventar o telescópio com base na Física e na Geometria então conhecidas. Afinal de contas, ainda não entendemos o funcionamento dos telescópios"⁽⁹¹⁾.

Esta declaração de Huygens parece confirmar a nossa tese de que o telescópio não foi desenvolvido a partir das teorias ópticas existentes àquele tempo.

Repito e sintetizo a nossa conclusão. A descoberta de Galileo do telescópio nem foi obra do acaso, nem simples reprodução de um dispositivo cujas partes e disposições se conhecia previamente. Porém também não foi feita a partir de um raciocínio lógico dedutivo, já que as teorias ópticas com as quais Galileo estava familiarizado não ofereciam bases teóricas suficientes para a construção do telescópio. Galileo conseguiu o progresso graças a tentativa e erro, a conjecturas e refutações.

(91) Huygens, '*Dioptrica*', *Hugenii Opuscula Postuma*, Lug. Bat, 1903, 163, parafraseada de A.G. Kästner, *Geschichte der Mathematik*, vol. IV Göttingen, 1800, p. 60.

Cristian Huyghens (1629-95), interessado nos problemas de ótica, compreendeu que novos progressos na astronomia dependiam do aperfeiçoamento dos instrumentos. Ele construiu sua primeira luneta em 1655. O progresso que ele adicionou na construção de lentes o permitiu fazer novas descobertas astronômicas além das de Galileo, por exemplo, ele descobriu o Titã, o maior satélite de Saturno e em 1656 observou e descreveu corretamente o anel deste planeta.

3.3- Telescópio: testes terrestres e extrapolação para o Céu

3.3.1- Contexto da justificação

"... assim como as construções são sustentadas sobre fundações, a ciência é sustentada sobre princípios. Se estes estão abalados e destruídos, a ciência assim como uma construção colapsará".

Francesco Sizi^{*}

Vimos no item anterior que as teorias ópticas existentes antes de 1609, com as quais Galileo estava familiarizado, não bastavam como alicerce teórico para a construção do telescópio. Além disso parte destas teorias tornava duvidosa a confiança que o telescópio deveria merecer depois de inventado.

Segundo afirma Vasco Ronchi: "no começo do século XVII ópticos e matemáticos, bem como os filósofos, nada sabiam acerca do funcionamento das lentes ordinárias, assim não poderiam esperar entender o princípio do telescópio. Eles resumiam o valor deste novo dispositivo da seguinte maneira:

* Sizi, F., Dianoia astronomica, ottica, fisica, (Veneza 1611), Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. III, p. 212.

O Dianoia é um sério trabalho de autoria de Francesco Sizi, no qual são coletadas todas as razões, de cunho astronômico e teológico do por que não se deveria acreditar no que nós vemos através do telescópio.

O telescópio mostra imagens maiores do que os objetos reais ou mais próximos, ele os mostra coloridos e distorcidos, portanto ele nos engana e não podemos confiar nele para aprender a verdade. Logo ele não pode ser usado como um instrumento de observação"⁽⁹²⁾.

O próprio Galileo não oferece razões teóricas acerca do por que se deveria confiar nas informações obtidas por meio do telescópio, nem do por que se deveria considerar o telescópio um "sentido superior e mais aperfeiçoado que o sentido natural e comum, a juntar forças às da razão"⁽⁹³⁾ para a avaliação das questões astronômicas. Parece que novamente Galileo lança mão da experiência para sustentar seu ponto de vista.

O êxito terrestre do telescópio foi assegurado por uma centena de milhares de testes a que Galileo diz tê-lo submetido, os quais são descritos por Galileo em várias cartas; entre elas destaca-se uma endereçada a Piero Dini em 21 de maio de 1611: "Nem se ponha em dúvida que eu, por um período de mais de dois anos, venho testando meu instrumento (ou antes dezenas de instrumentos meus) dirigindo-o a centenas de milhares de objetos, próximos e distantes, grandes e pequenos, brilhantes e obscuros"⁽⁹⁴⁾.

(92) Ronchi, V., Storia della Luce, trad. Barocas, V. The Nature of Light, p. 95.

(93) Galilei, G., Dialogo sopra i due..., trad. Drake, Dialogue..., p. 328.

(94) Galileo, G., carta a P. Dini, 21 de maio de 1609, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. XI, pp. 105-106.

Estes testes com o telescópio devido aos incríveis resultados aperfeiçoando a visão terrestre, proporcionando inúmeros benefícios quando usado em terra ou mar, como instrumento militar ou marítimo, causaram um impacto extraordinário na comunidade européia. Impacto este que pode ser evidenciado pelo grande interesse demonstrado pelo governo veneziano e, posteriormente, pela corte de Toscana, pelos novos instrumentos de Galileo.

Além disso existem vários textos escritos àquela época que descrevem os efeitos verdadeiramente notáveis proporcionados pelo telescópio, quando usado nas observações terrestres, como mostra o relato de Julius Caesar Lagalla sobre uma reunião de grande importância realizada a 14 de abril de 1611, em Roma, na propriedade de Monsignor Malvasia, onde foi oferecido um banquete a Galileo por Frederico Cesi⁽⁹⁵⁾.

Segundo relatos periódicos (*Avvisi*) do Ducado de Urbino, estavam presentes, nesta reunião, além de Galileo: "um flamengo chamado Terrentius; Pêrsio, da comitiva do Cardeal Cesi; (La)Galla, professor da nossa Universidade; o grego, que é o matemático do Cardeal Gonzaga; Pifferi, professor

(95) Federico Cesi, um jovem nobre (que herdou o título de Marquês de Monticelli) e sobrinho do Cardeal Cesi, fundou em 1603, junto com três amigos, a academia de Lincei, devota da aos estudos dos fenômenos naturais. Por ocasião da reunião de 14 de abril, Galileo e mais cinco outras pessoas presentes naquela noite foram feitos membros da Academia enquanto permanecessem em Roma. Os dois únicos professores que não se tornaram membros da Academia foram Lagalle e Pifferi.

em Siena; e outras oito pessoas"⁽⁹⁶⁾.

Sobre este evento afirma Lagalla: "Nós estávamos no Topo de Janiculum, perto do portão da cidade que tem o nome de Espírito Santo, onde se diz ter sido a vila do poeta Marcial, hoje propriedade do Reverendíssimo Malvasia. Através do aparelho (o telescópio) vimos tão distintamente o palácio do ilustríssimo duque Altemps, nas Colinas Toscanas, que facilmente contamos todas e cada qual de suas janelas - e a distância é de dezesseis milhas italianas. Do mesmo lugar, lemos as letras esculpidas na Galeria que para as bênçãos, Sixto erigiu no Laterano e pudemos ler tão claramente, a uma distância de pelo menos duas milhas, que distinguíamos os pontos lavrados entre as letras"⁽⁹⁷⁾.

Porém se o êxito do uso terrestre do telescópio estava assegurado pelos inúmeros testes bem sucedidos a que ele fora submetido, o mesmo não se pode dizer da extrapolação do seu uso para a avaliação das questões astronômicas, já que existia uma grande controvérsia com respeito às observações telescópicas do Céu apresentadas por Galileo no seu *Sidereus Nuncius*, o que pode ser evidenciado pelo relato de Martin Horky, discípulo de Kepler, que participou de um encontro anterior, nos dias 24 e 25 de abril de 1610, na casa de Magini,

(96) apud E. Rosen, The Naming of the Telescope, New York, 1947, p. 31.

(97) Lagalla, J.C., De phaenomenis in orbe lunae novi telescoppi usa a D. Galilei nunc iterum suscitatis physica disputatio, (Veneza, 1, 1612), p. 8, apud E. Rosem, op. cit.

com mais vinte e três professores de todas as faculdades, onde Galileo mostrou um dos seus telescópios; escreve Horkey: "Não dormi em 24 e 25 de abril nem de dia nem de noite, mas experimentei de mil maneiras o instrumento dirigindo-o a coisas aqui de baixo e coisas lá de cima. Aqui ele funciona magnificamente; nos Céus, decepciona, pois algumas estrelas fixas são vistas duplicadas. Tenho como testemunhas homens excelsos e nobres doutores... e todos admitiram que o instrumento é enganoso" (98).

O problema da extrapolação do uso do telescópio para o Céu se deve segundo Feyerabend à diferença existente entre se observar, através do telescópio, objetos celestes e objetos terrestres. Feyerabend apresenta razões físicas e psicológicas para esta diferença.

Acerca das primeiras ele afirma que: dada a idéia contemporânea (que estava sustentada por uma soma surpreendente de evidências, que se estendiam por mais de dois mil anos) que os objetos terrestres e celestes, seriam feitos de materiais diferentes e obedeceriam a leis diferentes, seria de se esperar que o resultado de uma interação da luz (que liga os dois domínios e tem propriedades especiais) com objetos terrestres não pudesse, sem maior exame ser estendido ao que ocorre no domínio celeste.

A essa idéia física acrescentou-se, de inteiro acor

(98) Horkey, M., carta a J. Kepler, 27 de abril de 1601, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. X, pp. 342-343.

do com a teoria aristotélica do conhecimento, "as hipóteses de que os sentidos estão familiarizados com a última aparência dos objetos terrestres e estão, portanto, capacitados a percebê-los distintamente, mesmo que a imagem telescópica esteja amplamente distorcida ou desfigurada pelas franjas coloridas. As estrelas não são conhecidas de perto, por nós. Portanto, não podemos neste caso usar nossa memória para separar as contribuições do telescópio daquelas que provêm do próprio objeto. Além disso, todas as sugestões familiares (tais como a cena de fundo, superposição, e conhecimento do tamanho) que constituem e ajudam nossa visão, na superfície da Terra, estão ausentes no Céu, tal que é de se esperar a ocorrência de fenômenos novos e surpreendentes"⁽⁹⁹⁾.

Assim, conclui Feyerabend, era necessária uma nova teoria da visão — que tivesse por base princípios inteiramente novos, que combinasse hipóteses sobre o comportamento da luz no telescópio e hipóteses relativas à reação do olho em circunstâncias especiais — para que a extrapolação do uso

(99) Feyerabend, P.K., Problems of Empiricism II, Colodny, R. (ed.), The Nature and Function of Scientific Theory, (University of Pittsburg, 1970, p. 283).

Para uma discussão mais detalhada sobre a importância de alguns dispositivos, tais como os diafragmas e fios cruzados na localização e formação da imagem telescópica e para uma análise das estranhas situações que surgem quando estes dispositivos não estão presentes, Feyerabend indica as seguintes leituras: cap. IV do Ronchi, V., Optics, The Science of Vision (New York, 1957). Ver também Gregory, R.L., Eye and Brain (World University Library, 1966) e Kilpatrick, F.P., ed. Explorations in Transactional Psychology (New York, 1961).

terrestre do telescópio para as observações celestes tivesse um suporte teórico.

Peter Machamer se opõe a esta conclusão, porém ele não se ocupa das razões psicológicas apontadas por Feyerabend, e apresenta suas críticas, somente, às razões físicas.

Segundo Machamer o corpo da óptica tradicional com a qual Galileo, e muitos de seus contemporâneos estavam familiarizados - a tradição que incluía os trabalhos de Alhazen, Roger Bacon e Witelo - já sustentava que mesmo que se mantenha a distinção celestial/terrestre, defendida pelos aristotélicos, ela não afetaria a aplicação das leis da óptica usadas para justificar a confiabilidade do telescópio, isto porque esta distinção é logicamente independente da, e irrelevante para a teoria óptica.

Este ponto é estabelecido por Machamer ao considerar alguns textos de óptica tradicional, como por exemplo o *Perspectiva* de Witelo no qual, de um modo geral, as proposições foram provadas sobre objetos vistos independentemente de considerações sobre os domínios. De fato, afirma Machamer, "as leis ópticas tinham sido aplicadas a fenômenos em ambos os domínios desde a antiguidade. As leis foram usadas tanto em nobres esforços, tais como para corrigir as observações astronômicas (por exemplo, para os efeitos da refração atmosférica) como para coisas bobas como brincadeira da corte (por exemplo, para fazer um homem pensar que está voando). O uso astronômico explícito das leis ópticas foi feito por muitos pensadores incluindo Ptolomeu, Hero, Aristarchos, Proclus, Diadochus, Alhazen, Aegidius de Lessines, Oresme, Peckham, Copérnico, e, talvez até, o próprio Aristóteles. Tais usos

astronômicos das leis ópticas conduzem claramente a uma dificuldade para a afirmação de Feyerabend"⁽¹⁰⁰⁾.

Feyerabend na sua resposta às críticas de Machamer reconhece que desde o começo os argumentos cosmológicos se basearam em triangulações interplanetárias, tendo o próprio Aristóteles admitido que a luz obedece às mesmas leis no Céu e na Terra. Porém Feyerabend afirma que não era esse o ponto que procurava acentuar, mas antes o fato de que sendo a luz uma entidade interdepartamental, apresentava propriedades especiais e sujeitava-se a condições diferentes no domínio terrestre e no domínio celeste.

Quanto às razões psicológicas apontadas por Feyerabend, acerca das quais Machamer nada fala, creio que Feyerabend tem razão ao afirmar que "ninguém lhe deu maior atenção e os que fizeram em uma oportunidade deixaram de fazê-lo em outras. As estrelas eram consideradas como pontos de condensação nas esferas celestes (Aristóteles, De Caelo, 289; Simplicius; vários autores medievais); havia alteração de material, que passava de ar a fogo e a éter, mas parece que ninguém notou os problemas de refração que daí se originam. Os debates se iniciaram ao tempo de Tycho; em suas discussões com Rothmann, e tais discussões mereceram pertinentes comentários de Kepler. Este chega a elaborar alguns pressupostos a respeito da essência celeste"... "Assim, (conclui Feyerabend) é certo que os especialistas em óptica ignoravam as diferenças afirmadas pelos cosmologistas e triangulavam

(100) Machamer, P., Feyerabend and Galileo..., p. 17.

ousadamente no espaço. Assim agindo, mostravam negligência grave, ignorância ou completo alheamento, aos requisitos de coerência (a que não me prendo, mas aos quais se prende até o menos qualificado metodologista). Não obstante, os Ópticos alcançaram êxito. Uma vez mais a ignorância, a superficialidade, a falta de senso revelaram-se uma benção" (101).

A estas dificuldades, Feyerabend acrescenta algumas questões sobre as observações astronômicas, com o telescópio, feitas por Galileo. Algumas destas observações, segundo ele, eram autocontraditórias, enquanto outras poderiam ser corrigidas por observações a olho nu.

Antes de analisarmos o problema dos dados celestes nas observações de Galileo, faremos um breve relato das primeiras observações telescópicas dos Céus feitas por Galileo e apresentadas no *Sidereus Nuncius*.

3.3.2- As primeiras observações telescópicas de Galileo

As primeiras observações dos Céus feitas por Galileo com o telescópio de potência 20 X (ou 30 X), potência especificada nos desenhos das primeiras observações ilustradas no *Sidereus Nuncius* (ver Figura 12), provavelmente ocorreram

(101) Feyerabend, P.K., Against Method, apêndice II.

2.8

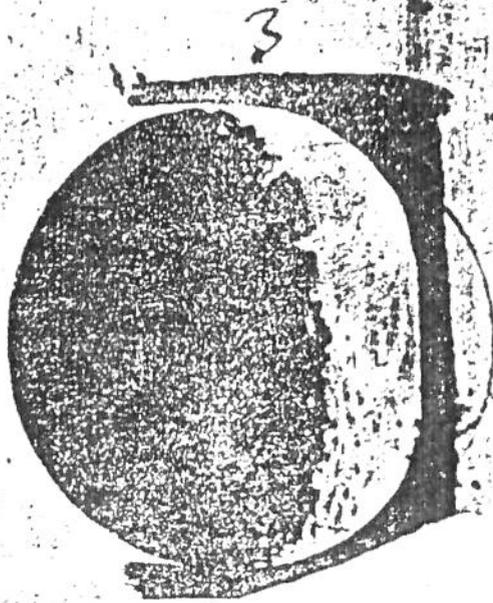
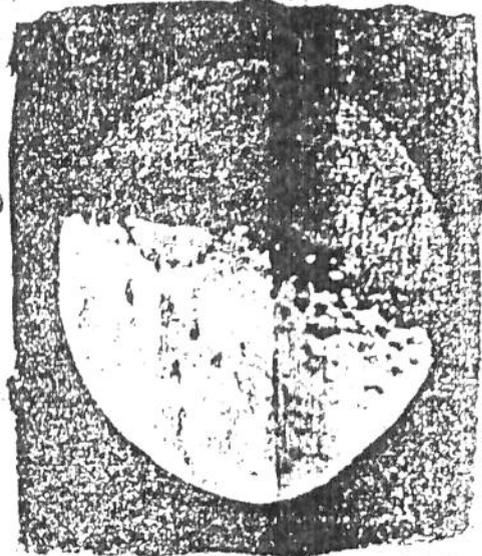
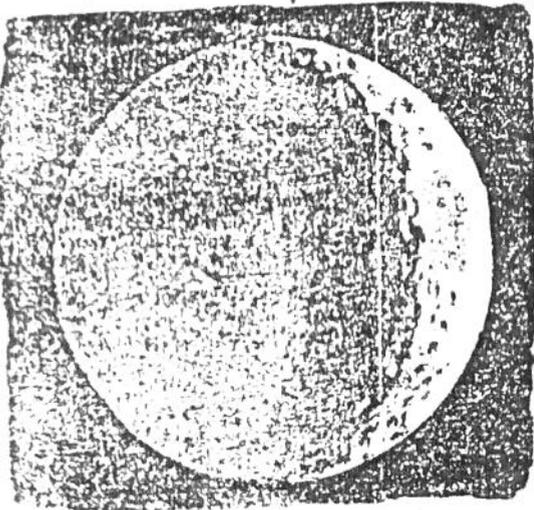
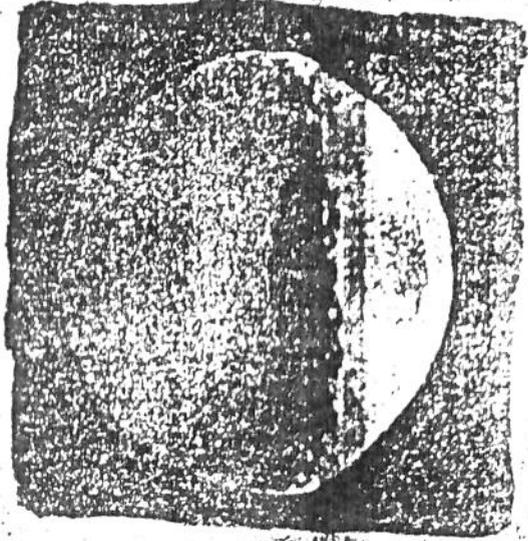
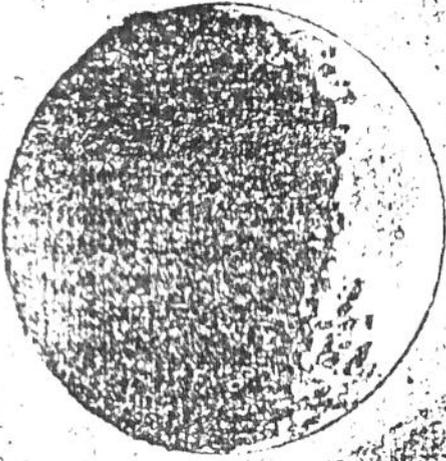


FIGURA XII

a partir de 19 de dezembro de 1609⁽¹⁰²⁾.

Embora entre as cartas e artigos de Galileo escritos entre agosto de 1609, data da apresentação do telescópio de potência 8X ao governo veneziano, e a publicação do *Sidereus Nuncius*, em março de 1610, não encontremos nenhuma referência à data em que ele começou a aplicar o seu telescópio, para a astronomia, nem quando foram feitas as observações da Lua ilustradas no *Sidereus...*, como também não especifica quando Galileo conseguiu aperfeiçoar o seu instrumento para potência 20X, nos quais foi possível, a partir de considerações astronômicas e biográficas, chegar a algumas datas prováveis para estas observações.

Esta datação foi feita com base no que há e no que não há, em algumas cartas e artigos de Galileo escritos no período acima referido; e com base no trabalho do prof. Guglielmo Righini e em algumas considerações biográficas fei-

(102) Embora as primeiras observações telescópicas dos céus provavelmente não tenham sido feitas por Galileo, e sim pelo matemático inglês Thomas Harriot (1560-1621) e pelo alemão Simon Marrius (1570-1624), o crédito da primeira aplicação do telescópio para objetos celestes é atribuído a Galileo, possivelmente pelo modo sistemático como ele observou cada um dos objetos e pelo uso que ele fez de cada uma de suas observações como argumento em favor da cosmologia copernicana, à qual Galileo já estava convertido há muito tempo.

tas por Stillman Drake⁽¹⁰³⁾.

Segundo o prof. Righini, do Observatório Astrofísico de Arcetre, as observações lunares ilustradas por Galileo no *Sidereus Nuncius* foram feitas nos seguintes dias:

- 1ª ilustração da Lua - 2 de outubro de 1609
- 2ª ilustração da Lua - 3 de dezembro de 1609
- 3ª ilustração da Lua - 18 de dezembro de 1609
- 4ª ilustração da Lua - um pouco antes de 18 de dezembro

As evidências apresentadas por Righini para sua datação são de caráter puramente astronômico, embora o tipo de análise aplicada para o diagrama nº 1 seja totalmente diferente daquela utilizada nos demais.

Righini trabalhou a partir das evidências de libração⁽¹⁰⁴⁾ dadas por características identificáveis da Lua nas

(103) Righini, G., New Light on Galileo's Lunar Observations, in M.L. Bonelli and W.R. Shea, Reason, experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution, (New York, 1975), pp. 59-76.

Drake, S., Galileo's First Telescopic Observations, Journal of the History of Astronomy, vii (1976), pp. 153-168.

(104) O fenômeno da libração da Lua corresponde a qualquer mudança real ou aparente das posições médias dos eixos lunares.

Dado que a revolução da Lua em torno da Terra segue uma órbita elíptica, e portanto não uniforme, enquanto que a rotação em torno do seu próprio eixo é uniforme; um ponto P escolhido no centro do disco lunar (assinalado por exemplo por uma pequena cratera) oscila a um ou outro lado do centro geométrico do disco, este fenômeno é hoje conhecido como libração em longitude.

ilustrações de Galileo tal como publicadas no *Sidereus Nuncius*, partindo do princípio de que:

a) Galileo teria começado a apresentar, ao leitor (embora sem afirmar isso) a série de suas observações lunares a partir daquela que teria sido, na realidade, a sua primeira observação lunar,

b) todas as observações teriam sido feitas durante o ano de 1609, após a apresentação do telescópio de potência 8 X, em agosto de 1609.

As duas principais conclusões de Righini são as seguintes:

1) Comparando o desenho de Galileo da Lua levemente crescente, imediatamente depois da Lua nova, com fotografias da Lua, tiradas recentemente através de um telescópio de alta potência em Pádua (cidade onde Galileo se encontrava quando fez suas observações), Righini conseguiu identificar um número suficiente de características reais, a partir das quais ele concluiu que Galileo representou a Lua com quatro dias e quinze horas, mais ou menos duas horas (4,62 dias \pm 2 horas).

Devido à hora do por do Sol em Pádua, ela só poderia ter feito isso, durante o segundo semestre de 1609, no dia 2 de outubro de 1609.

2) Analisando os diagramas 2 e 3 do *Sidereus...*, (ver Figura XII), que representam a Lua na quarta minguante e quarta crescente, nos quais uma particular cratera é sele-

cionada, por Galileo, (identificada por Righini como sendo a Albategnius) para ilustrar um fenômeno de iluminação, e que mostram uma libração de aproximadamente 9° verticalmente; Righini notou que: uma libração tão grande só poderia ter ocorrido entre 3/12 e 18/12, e não entre quaisquer outras fases similares durante os meses em questão.

A primeira conclusão são levantadas objeções de cunho astronômico, pelo prof. Owen Gingerich, e de cunho biográfico, por Stillman Drake⁽¹⁰⁵⁾.

Segundo o prof. Gingerich, se não confinarmos as possíveis datas das observações em questão dentro do segundo semestre de 1609 e sim entre os meses que precedem a publicação do *Sidereus Nuncius* e depois de Galileo ter o seu telescópio, veremos que: em Pádua se poderia ter visto a Lua no dia 29 de janeiro de 1610 com a mesma idade daquela vista a 2 de outubro, a saber com 4,62 dias \pm 2 horas depois da Lua Nova.

No artigo *Galileo's First Telescopic Observations*, Drake apresenta evidências de caráter biográfico para suportar as três últimas datas defendidas por Righini; e objeções, também, de caráter biográfico, à data de 2 de outubro de 1609.

(105) Owen Gingerich atacou toda a análise de Righini num artigo publicado no livro Reason, experiment, e mysticism in the Scientific Revolution, in M.L. Bonelli and W.R. Shea, (New York, 1975).

A análise de Righini também é discutida por Stillman Drake no artigo Galileo's First Telescopic Observations, citado anteriormente.

Nestas objeções Drake une-se ao prof. Gingerich, apontando a data de 29 de janeiro de 1610 como o dia em que Galileo teria feito a observação ilustrada em primeiro lugar no *Sidereus Nuncius*.

Drake analisou cartas e artigos de fim de agosto a 4 de dezembro de 1609, e concluiu que eles "são inteiramente destituídos de qualquer insinuação de que Galileo tenha pensado em aplicar o telescópio à astronomia, nem menciona qualquer descoberta no Céu com ele"⁽¹⁰⁶⁾.

Além da ausência de cartas e artigos sugerindo tal nova atividade, Drake considera improvável que Galileo tenha conseguido melhorar a potência do seu telescópio de potência 8 X (potência do telescópio apresentado em 21/8) para potência 20 X (potência especificada nos desenhos do *Sidereus*...) em apenas um mês, embora a informação necessária para tal empreendimento, segundo Drake, já fosse conhecida por Galileo em agosto, a saber que a potência depende da razão dos comprimentos focais das duas lentes. Porém, um telescópio realmente potente requer uma lente polida com uma concavidade bastante profunda, o que toma tempo.

Mas ainda que isso tivesse ocorrido seria de se esperar ao menos alguma menção a tal façanha ou às suas consequências antes de 4 de dezembro de 1609 quando Galileo escreve a Michelangelo Buonarrotti, que se encontrava em Florença, comunicando que ele estaria lá no verão seguinte "com algum

(106) Drake, S., Galileo's First Telescopic Observations, *Journal for History of Astronomy*, vii, (1976), p. 154.

melhoramento no seu telescópio, e talvez alguma outra 'invenzione' (descoberta ou invenção)"⁽¹⁰⁷⁾.

A partir destas considerações, Drake conclui que: as observações lunares de Galileo, com o telescópio potência 20 X, teriam começado um pouco depois do por do Sol no dia 19 de dezembro de 1609, quando a Lua em Pádua, de acordo com os cálculos do prof. Righini, teria cinco dias.

Segundo Drake, "os desenhos feitos por Galileo naquela noite não foram muito precisos, mas sua habilidade melhorou rapidamente e os desenhos feitos para a quarta crescente e quarta minguante em três e dezoito deste mês foram realmente usados mais tarde no *Sidereus Nuncius*. Para publicar a fina crescente de quatro ou cinco dias, contudo, eu creio que ele fez um novo desenho em 29 de janeiro de 1610"⁽¹⁰⁸⁾.

Embora Drake tenha razão ao afirmar que os escritos de Galileo, anteriores a 4 de dezembro, sejam inteiramente destituídos de qualquer insinuação de que ele tenha pensado em aplicar o seu telescópio para a astronomia, se analisarmos uma carta particular endereçada a Belisario Vinta, secretário do então grão-duque Cosimo, datada de 30 de janeiro de 1610, encontraremos evidências de que Galileo teria observado a Lua em outubro de 1609.

(107) Galileo, G., carta a Michelangelo Buonarotti, 4 de dezembro de 1609, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. XI.

(108) Drake, S., Galileo's First Telescopic Observations, p. 154.

Escreve Galileo: "que a Lua é um corpo muito similar à Terra já foi parcialmente mostrado por mim ao nosso Sereno Lord (Cosimo), embora imperfeitamente, (pois) eu não tinha ainda um instrumento da excelência que eu tenho agora"(109).

Isso parece indicar que:

Primeiro: Galileo teria observado a Lua, com um telescópio de potência inferior a potência 20 X, e com ele revelado o carater montanhoso da superfície lunar.

Segundo: Galileo teria estado com o grão-duque Cosimo, em Florença, antes de janeiro de 1610, ocasião em que teria mostrado, ao menos parcialmente, suas descobertas sobre a Lua.

Não há nenhuma carta que indique claramente que ocasião foi esta, porém o único período possível, entre agosto de 1609 e janeiro de 1610, seria durante o mês de outubro, antes do início do ano acadêmico em Pádua. Além disso, uma carta de Galileo endereçada a Belisario Vinta, de 30 de outubro de 1609, sugere que Galileo esteve com ele, em Florença, por volta desta data.

Porém estes indícios não nos levam a concordar integramente com a datação de Righini com respeito à ilustração nº 1, isto porque as considerações de Drake sobre a improbabilidade de Galileo em 2 de outubro já ter o telescópio

(109) Galileo, G., carta a Belisario Vinta, 30 de janeiro de 1610, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. XII.

potência 20 X são bastante pertinentes.

Considerando todos estes dados por nós conhecidos agora é nossa opinião que: Galileo, que já era um copernicano, quando obteve o seu telescópio, não tardou a aplicá-lo para a avaliação das questões astronômicas, esforçando-se por comprovar, através deste "sentido superior e mais aperfeiçoado que o sentido natural e comum", as teses copernicanas.

Começou suas observações da Lua em outubro, com o seu telescópio original, potência 8 X, porém a descoberta de montanhas sobre a superfície lunar não foi amplamente divulgada, provavelmente, devido à precariedade do dispositivo utilizado por Galileo⁽¹¹⁰⁾.

(110) A observação, através do telescópio, de montanhas sobre a superfície lunar, veio a confirmar o que Alimberto Mauri, em 1606, já havia afirmado, com base em raciocínios feitos a partir de efeitos de iluminação, vistos a olho nu.

Segundo Stillman Drake, Alimberto Mauri foi um pseudônimo adotado por Galileo, em 1606, quando este teria escrito, grande parte se não todo, um livro, publicado em Florença, intitulado "Considerações de Alimberto Mauri sobre algumas passagens do Discurso de Ludovico delle Colombe", que continha uma devastadora resposta ao livro de Colombe sobre o fenômeno do surgimento de estrela nova de 1604.

Este fenômeno que já havia ocorrido anteriormente — e havia sido cuidadosamente observado e estudado por Tycho em 1572, quando teria surgido uma estrela, visível por mais de um ano, chamada estrela de Tycho — corresponde ao aparecimento de estrelas novas no Céu, e posterior desaparecimento. Devido à total ausência de paralaxe, elas deveriam estar localizadas entre as estrelas fixas.

Assim que Galileo tomou conhecimento da observação, em outubro de 1604, deste fenômeno interessou-se por

Restava, então, melhorar a potência do seu instrumento, o que provavelmente ocorreu em novembro de 1609⁽¹¹¹⁾, e reiniciar suas observações do Céu, agora com um instrumento muito mais potente.

As primeiras observações da Lua com o telescópio potência 20 X foram feitas no início de dezembro de 1609 e as considerações de Drake sobre elas são plenamente satisfatórias.

Sobre as outras observações do Céu feitas por Galileu

...continuação da nota (110)

ele, tornando-se em Pádua o comandante da batalha contra os aristotélicos, segundo os quais nenhuma mudança no Céu é possível, já que a substância do qual é feito é perfeita e inalterável, portanto ou o fenômeno é sublunar ou tais estrelas sempre estiveram lá.

A opinião de Colombe, adepto do dogma aristotélico, era que a estrela nova, tão brilhante quanto Venus, que alguns astrônomos afirmam ter surgido em outubro de 1604 e que em fins de 1605 tornou-se fraca e difícil de ser vista sempre havia estado lá.

Colombe investigou por um ano quem era o tal Alimberto Mauri que o criticara, porém não encontrou ninguém com esse nome, passando a suspeitar que o ataque tenha sido feito por Galileu, devido ao estilo e ponto de vista.

(111) Estamos supondo este mês, porque o único indício encontrado entre a correspondência de Galileu sobre este melhoramento é a carta endereçada a Michelangelo Buonarrotti, em 4 de dezembro de 1609, citada anteriormente.

leo, e descritos no *Sidereus*... é esclarecedora uma carta de 7 de janeiro de 1610.

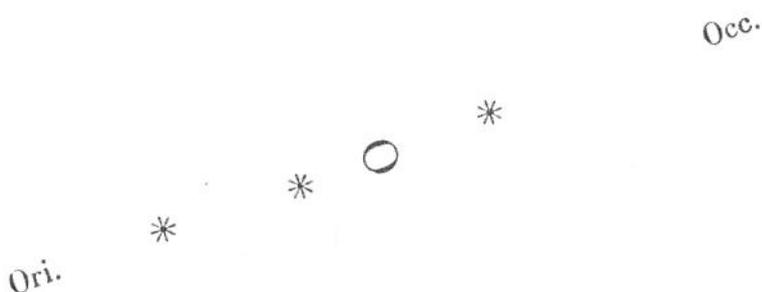
Esta importante carta existe somente em forma de duas cópias: *uma* completa, embora careça do nome da pessoa a quem Galileo pretendia enviá-la, feita no século XVII, e que agora pertence à biblioteca do Vaticano, que não é muito boa, pois embora contenha relevantes desenhos, mencionados no texto da carta, eles foram grosseiramente copiados; a *outra* cópia, preservada em Florença, foi feita no século XVIII, e é incompleta, é a cópia de uma cópia anterior feita por um antigo aluno, secretário e assistente de Galileo, Vincenzo Viviani, a partir do original escrito por Galileo, o reconhecimento da autenticidade deste original, foi feito pelo filho de Galileo após a sua morte, uma vez que já então faltava a página final com os parágrafos conclusivos, a data e a assinatura⁽¹¹²⁾.

Afirma Galileo nestes parágrafos conclusivos:

"E além das minhas observações da Lua, eu tenho ob

(112) Estes parágrafos conclusivos, que contêm algumas considerações de Galileo sobre suas observações das estrelas fixas e o relato de suas observações dos satélites de Júpiter, foram escritos de uma forma um tanto deselegante para ser uma continuação imediata dos parágrafos anteriores, que tratam das observações lunares, o que nos leva a crer que Galileo tenha escrito a primeira parte algum tempo antes da noite de 7 de janeiro de 1610, quando teria concluído a carta em questão, adicionando a esta algumas notas sobre suas incríveis observações dos satélites de Júpiter feitas nesta "memorável noite para a história da astronomia".

servado o seguinte nas outras estrelas. Primeiro, que são vistas com o telescópio muitas estrelas fixas que não são percebidas (a olho nu); e nesta mesma noite eu vi Júpiter acompanhado por três estrelas fixas, totalmente invisíveis devido a sua pequenês, e a configuração era na seguinte forma:



não ocupando mais do que um grau de longitude.

Os planetas são vistos muito esféricos, parecendo pequenas Luas cheias, de contorno bastante claro e sem raios. Mas as estrelas fixas não aparecem assim; ao contrário elas são vistas muito mais fulguosas e trêmulas com o telescópio do que sem ele, e tão irradiantes que a forma que eles possuem não é revelada".

"Eu (conclui Galileo) só posso dizer isso pelo momento, de coração saudando-o e desejando-o bem.

De minha casa, 7 de janeiro de 1610

seu afetuoso criado

Galileo Galilei"¹¹³

(113) Galileo, G., carta a Antonio de Medice, de 7 de janeiro de 1610, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. XII, p.

são em seu movimento direto, senão também no retrógrado, não pode haver dúvida de que realizam suas revoluções em torno dele, a tempo que todos cumpram seus períodos de doze anos em torno do centro do mundo" (116).

Poderíamos nos perguntar porque Galileo teria dirigido o telescópio justamente para Júpiter, na noite de 7 de janeiro de 1610, e não para qualquer outro planeta. A resposta parece ser que naquela noite somente Júpiter e Saturno apareceram no Céu, "e Saturno estava tão baixo que meia hora depois do por do Sol ele estava somente uns poucos graus acima do horizonte e estava provavelmente invisível. Júpiter estava alto no Céu. Quando (Galileo) apontou seu telescópio para Júpiter ele nada mais premeditava além de olhar o único planeta realmente disponível para a observação" (117).

Temos que reconhecer que este foi um acidente feliz, pois a observação dos satélites de Júpiter, embora não oferecesse nenhuma evidência positiva para o sistema heliocêntrico, certamente abalou uma das fortes objeções a ele, a saber a inexplicável anomalia que a Lua — um planeta girando ao redor de outro planeta, e ao mesmo tempo ambos traçando uma órbita anual ao redor do Sol — representava para o sistema de Copérnico.

(116) Galileo, G., *Sidereus Nuncius*, Opere, vol. II,

(117) Westfall, R.S., Galileo and the Telescope, Isis, 1985, 76, pp. 18-19.

3.3.3- O problema dos dados celestes

As incríveis observações da Lua, através do telescópio, que apontavam o caráter montanhoso da superfície lunar, certamente constituíram uma anomalia para a doutrina aristotélica de perfeição e imutabilidade do Céu, e Galileo não vacilou em usar este fato em favor da nova visão de mundo.

Também a observação dos Planetas Medicis, como vimos, contribuiu para os propósitos de Galileo.

Porém as observações telescópicas do Céu tinham sérios problemas, isto porque, como vimos anteriormente, Galileo não dispunha de uma teoria óptica que garantisse a fidelidade das imagens telescópicas do Céu, e que afastasse a possibilidade de ilusões ópticas.

Segundo Feyerabend, "só recentemente se percebeu o grau dessas ilusões, o que se deu principalmente graças à obra de Ronchi e sua escola. As maiores variações são apontadas na posição da imagem telescópica e, correspondentemente, na ampliação observada. Alguns observadores colocam a imagem no interior do telescópio, levando-a a alterar sua posição lateral com a posição lateral do olho, exatamente como se daria com uma pós-imagem ou com um reflexo no interior do telescópio - excelente prova de que deve estar diante de uma ilusão. Outros situam a imagem de maneira que não se produz qualquer ampliação, embora coubesse esperar uma ampliação linear superior a trinta. Mesmo a duplicação de imagens pode

ser explicada pela focalização inadequada"⁽¹¹⁸⁾.

Esta situação se via agravada pelo fato de que algumas observações de Galileo com o telescópio, como notou Feyerabend, eram contraditórias entre si, enquanto outras poderiam ser corrigidas por observações a olho nú. Existe uma grande diferença entre a Lua de Galileo e aquela que todas podem ver a olho nu.

Além disso era difícil conseguir-se explicar que a parte clara da Lua, quando observada pelo telescópio, apresentasse rugosidades, "vastas protuberâncias, profundos recortes e sinuosidades"⁽¹¹⁹⁾ nos limites internos enquanto o limite externo não parecesse desigual, áspero e irregular, mas perfeitamente redondo e circular, tão nitidamente definido como se traçado por compasso e sem quaisquer indentações correspondentes a protuberâncias e cavidades. Outro problema, também apontado por Feyerabend, é que: "A Lua e alguns dos planetas, como, por exemplo, Júpiter, pareciam aumentar (quando vistos através do telescópio), enquanto o diâmetro aparente das estrelas fixas decrescia: os primeiros eram trazidos mais para perto, enquanto as últimas se viam afasta-

(118) Feyerabend, P.K., Against Method, p.

Devemos lembrar que o telescópio de Galileo era extremamente imperfeito e nada fácil de manejar, assim alguém sem muita habilidade e treinamento teria muitas dificuldades em observar as coisas que Galileo afirmava ter observado.

(119) Galilei, G., Sidereus Nuncius, trad. Drake, The Sideral Messenger, p. 8, apud Feyerabend, P., Against Method, p.

das" (120).

Devido a estas dificuldades Feyerabend conclui que somente uma nova teoria da visão telescópica poderia trazer ordem do caos, distinguindo a aparência da realidade.

Machamer, analisando estas afirmações de Feyerabend, diz que historicamente nenhum contemporâneo de Galileo apresentou estes argumentos. E mesmo aqueles, como Martin Horky e Francesco Sizzi, que acreditavam que o telescópio quando usado no domínio celeste produzia ilusões, não questionaram as observações lunares de Galileo. Tanto Horky como Sizzi dirigiram seu ataque somente aos quatro satélites de Júpiter (ver: Machamer, P.K., Feyerabend and..., p. 5) de: "incorreto e irrelevante. Kepler fez objeções à impressão da suavidade do bordo da Lua e concitou Galileo a *voltar a investigar a questão*. E se ninguém mais se manifestou, isso mostra apenas que as pessoas não faziam observações muito cuidadosas e estavam, conseqüentemente, prontas a aceitar os novos milagres astronômicos de Galileo. De novo, a ignorância ou preci

(120) Feyerabend, P.K., Against Method, p.

"As estrelas (escreve Galileo) tanto as fixas como as errantes, quando vistas ao telescópio, de maneira alguma parecem ter o tamanho aumentado na mesma proporção em que outros objetos e a própria Lua ganham em tamanho; no caso das estrelas esse aumento parece muito menor, a ponto de ser possível considerar que um telescópio suficientemente poderoso para aumentar de cem vezes outros objetos dificilmente apresentará as estrelas aumentadas de quatro a cinco vezes" (Galilei, G., Sidereus Nuncius, trad. Santos S., *El Mensaje...*, p. 61.

pitação foi uma benção"⁽¹²¹⁾.

Creio que se deveria acrescentar que Kepler também criticou a explicação Galileana da diminuição do raio das es tre las vistas através do telescópio⁽¹²²⁾; segundo Kepler: "os pontos luminosos enviam seus cones ao cristalino, e devido à refração produzida atrás dele se concentram de novo em um ponto. Mas, devido a que o tal ponto não chega até a retina, se dispersa de novo ocupando uma pequena área da retina em lugar de um ponto. Assim, a intervenção do telescópio faz com que, graças a outra refração, tal ponto se encontre na retina. Portanto, não é o caso que alguns raios cheguem ao olho procedentes do resplendor que rodeia por fora as estrelas, senão que, pelo contrário, os raios que provêm do próprio cor po luminoso se dispersam pelo efeito da refração e dilatação noturna da abertura da pupila, projetando um resplendor em torno do ponto da retina que deveria representar a estre-

(121) Feyerabend, P.K., Against Method, apêndice II, p.

(122) Segundo Galileo a diminuição aparente no diâmetro das estrelas produzida pelo telescópio se dá porque "quando olhamos (as estrelas) com a visão ocular livre e natural, não se nos oferecem com sua simples, e por assim dizer desnu da, magnitude, senão com a irradiação de certos fulgores e com uma cabeleira de raios brilhantes, sobretudo nas noites escuras. Deste modo parecem maiores que se se despojassem destas perucas postiças, pois o ângulo visual não abarca o corpo principal da estrela senão o resplendor difundido am plamente ao redor" (Galilei, G., Sidereus Nuncius, trad. S. Santos, El mensajero..., pp. 61-62.

1a"(123).

Uma vez mais, somente a teoria da visão de Kepler poderia justificar estas observações telescópicas.

Aos problemas dos dados celestes apontados por Feyerabend creio que poderíamos acrescentar aqueles que decorrem da inexplicável duplicação de algumas estrelas fixas quando observadas pelo telescópio e alguns problemas que decorrem da aberração esférica.

Acerca dos primeiros temos que a sua completa justificação só é possível se se tiver disponível uma teoria da difração. Quanto aos últimos Kepler assinalou em uma carta a um correspondente anônimo em 18 de dezembro de 1610, que "o aparato galileano distorcia os objetos, propondo lentes de curvatura hiperbólica para combater essa aberração esférica"(124).

Diante de todas estas dificuldades dos dados celestes - Lua internamente enrugada e externamente lisa, planetas aumentados e estrelas diminuídas, estrelas duplicadas, aberrações esféricas - temos que reconhecer que os contemporâneos de Galileo tinham muitas razões para duvidar dos satélites de Júpiter, e das descobertas feitas com o auxílio do telescópio. Como reagiu Galileo diante de tal situação? A resposta já foi dada por Feyerabend: "elevou o telescópio ao

(123) Kepler, J., Dissertatio..., trad. S. Santos, El mensaje..., p. 134.

(124) Santos, C.S., Galileo-Kepler: El mensaje y el mensajero sideral, p. 18.

estado de um sentido superior e mais aperfeiçoado"⁽¹²⁵⁾.

(125) Feyerabend, P.K., Against method, cap. X, p.

CAPÍTULO 4

GALILEO E O DIÁLOGO SOBRE OS DOIS SISTEMAS DE MUNDO
— PTOLOMAICO E COPERNICANO

"Os que acreditam que uma bala lançada para o alto no interior do navio em movimento retorna ao mesmo lugar como se o navio estivesse em repouso, eles se enganam fortemente. De fato, a bala ficará para trás, tanto mais quanto mais rapidamente se desloque o navio".

Tycho Brahe^{*}

4.1- Introdução

Vimos no capítulo 2 que uma das principais objeções dos aristotélicos, antigos e medievais, contra a idéia da rotação diária da Terra está baseada na observação de que uma flecha (ou pedra) lançada verticalmente para cima, sempre volta ao ponto do qual ela foi lançada. Isso não seria observa-

^{*}Tycho Brahe, apud Martins, R., Galileo e o Princípio da Relatividade, Cadernos de História e Filosofia da Ciência, (9), 1986, p. 15.

do se a Terra girasse, uma vez que ao girar a Terra deixaria tal flecha (ou pedra) atrás de si.

Os argumentos de Oresme (vistos no item 2.2.3), e mais tarde os de Copérnico (vistos no item 2.4) tentavam estabelecer que é impossível por toda e qualquer experiência (inclusive esta) demonstrar que é o Céu, e não a Terra, que é movido com o movimento diário. No entanto, seus argumentos, como vimos, violavam alguns importantes aspectos da física aristotélica, entre eles o fato de que cada corpo simples tem um único movimento natural – o qual, no caso do elemento terrestre, é retilíneo e para baixo.

Tanto Oresme quanto Copérnico afirmavam que cada corpo simples ou elemento do Universo, exceto o Céu, podiam possuir um duplo movimento natural, circular (quando está no seu lugar natural) e retilíneo (quando está fora dele). Os argumentos de ambos, implicitamente, rompiam com a distinção aristotélica entre dinâmica terrestre e dinâmica celeste.

Porém nem Oresme, nem Copérnico, como notamos, chegaram a propor uma nova mecânica, capaz de substituir a aristotélica, e que implicasse o abandono da velha divisão qualitativa do Cosmo em dois mundos diferentes. Talvez por este limite da solução de Oresme e Copérnico é que o experimento da flecha continuou a ser usado, pela maioria dos físicos medievais e renascentistas, contra a idéia da rotação diária da Terra, os quais não aceitaram a violação dos princípios aristotélicos que os argumentos de Oresme e Copérnico impli-

cavam. Entre estes físicos destaca-se Tycho Brahe (1546-1601) (1).

O próprio Galileo, por volta de 1592 (e portanto antes de sua conversão ao copernicanismo), no seu *Trattato della sfera ovvero cosmografia*, apresenta a experiência da flecha, e alguns outros experimentos semelhantes, tais como o de uma pedra lançada do topo de uma torre e o de uma pedra lançada do mastro de um navio em movimento, como uma das principais razões pelas quais se podia acreditar que a Terra é completamente estacionária, seguindo as opiniões de Aristóteles e de Ptolomeu. Afirma Galileo:

"... se deixássemos cair para baixo, de lugares altos, coisas como uma pedra do topo de uma torre, ela não cairia mais na raiz da torre; pois no tempo durante o qual o corpo, descendo perpendicularmente (verticalmente), estivesse

(1) Tycho Brahe, como nota Koyré "não admite que a bala que cai do alto do mastro de um navio em movimento atinja o pé desse mastro. Muito pelo contrário, ele afirma que ela cairá a ré do mastro e que, quanto maior a velocidade do navio, mais longe a bala cairá. Da mesma forma, as balas de um canhão disparadas verticalmente no ar não poderão voltar ao canhão.

Tycho Brahe acrescenta que, se a Terra se movesse como pretende Copérnico, não seria possível lançar uma bala de canhão à mesma distância, a leste e a oeste: o movimento extremamente rápido da Terra, do qual a bala participa, viria a impedir seu movimento e até a torná-lo impossível se a bala em questão tivesse de mover-se numa direção oposta à do movimento da Terra" (Koyré, A., Galilee et la Révolution Scientifique ..., in Études d'histoire de la pensée scientifique, pp. 206-207.

se no ar, a Terra, subtraindo-se e movendo-se para o oriente, recebe-lo-ia em um lugar muito distante da torre; assim como, se o navio caminha muito rapidamente, a pedra que caiu do topo do mastro não cai ao pé, mas para o lado da popa. E isso se veria ainda mais claramente nas coisas lançadas perpendicularmente para cima, as quais, ao descer, cairiam muito longe de quem as jogou: e assim a flecha atirada com arco diretamente para o céu, não recairia perto do arqueiro, o qual, enquanto isso, levado pelo movimento da Terra, teria se deslocado um grande espaço para o oriente"⁽²⁾.

Esta objeção aristotélica, contudo, é respondida por Galileo, anos mais tarde, no seu *Dialogo sopra i. due massimi sistemi del mondo - Tolomaico e Copernicano* (1632)⁽³⁾, quando discute longamente o chamado "argumento da torre", baseado no experimento de uma pedra lançada do topo de uma torre.

No *Dialogo*, obra que marca a conclusão do seu trabalho sobre o sistema solar, Galileo apresenta sua pesquisa

(2) Galilei, G., Trattato della sfera ovvero cosmografia (Che La Terra stia Immobile), apud Martins, R., Galileo e o princípio da relatividade, pp. 17-18.

(3) Galilei, G., Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo - Tolemaico e Copernicano, (Florença, Per Gio: Batifta Landini, 1632); trans. Stillman Drake, Dialogue Concerning the Two Chief World Systems - Ptolomaic and Copernican (University of California Press, 1967). Doravante quando nos referimos a este livro, o faremos da seguinte maneira: Galilei, G., Dialogue... seguido pelo número da página correspondente na tradução de S. Drake, por nós utilizada.

astronômica e uma ampla discussão sobre a controvérsia copernicana. Escrito em linguagem corrente, o *Dialogo* é um livro dirigido ao grande público. Ele se estende por quatro dias sucessivos e é mantido por três debatedores: Salviati - um revolucionário copernicano; Simplicio - um filósofo aristotélico, mantenedor das tradições; e Sagredo - o mediador, um leigo inteligente, um ser neutro.

No primeiro dia do *Dialogo* Galileo discute a dicotomia aristotélica entre a região celeste e terrestre, e tenta estabelecer que ambas fazem parte do mesmo sistema cósmico. Em seguida Galileo passa a analisar o movimento da Terra: o segundo dia é dedicado à rotação diária da Terra e o terceiro à revolução anual ao redor do Sol. No quarto, e último dia Galileo discute o fenômeno das marés tentando mostrá-lo como um forte argumento em favor do movimento da Terra.

O *Dialogo* como mostrou Koyré nos seus *Études galiléennes* e no seu *Études d'histoire de la pensée scientifique* "não é tanto um livro sobre ciência, no sentido que damos a essa palavra, quanto um livro sobre filosofia - ou, para ser inteiramente exato e empregar uma expressão caída em desuso, porém venerável, um livro sobre a filosofia da Natureza - pela simples razão de que a solução do problema astronômico depende da constituição de uma nova Física, a qual por sua vez, implica a solução da questão filosófica do papel que desempenham as matemáticas na constituição da ciência da natureza" (Koyré, A., Galilée et Platon, in Études d'histoire de la pensée, p. 186).

O argumento da torre é apresentado por Galileo no

segundo dia do *Dialogo*, nas seguintes palavras de Salviati:

"Como a mais forte razão de todas (contra o movimento da Terra) é adicionado que os corpos pesados, quando caem de uma certa altura, seguem uma linha reta e vertical à superfície da Terra. Este é considerado um argumento irrefutável em favor da imobilidade da Terra. Com efeito, se a Terra efetuasse rotação diária, uma torre de cujo topo uma pedra fosse lançada, sendo carregada pelo giro da Terra, se deslocaria muitas centenas de jardas a leste durante o tempo que a pedra consumisse em sua queda, e a pedra deveria colidir com a Terra àquela distância da base da Torre"⁽⁴⁾.

Este experimento, usado pelos aristotélicos como argumento contra a idéia do movimento da Terra é afastado por Galileo ao longo dos quatro dias do *Dialogo*.

Para fundamentar seu argumento, Galileo introduz seu princípio da relatividade, sua lei da inércia, combinados com sua análise dos movimentos das pedras caindo e dos movimentos compostos.

Não pretendemos aqui fazer uma análise detalhada da história do desenvolvimento da mecânica de Galileo, a partir da qual se poderia derivar conseqüências epistemológicas, isto porque este empreendimento embora extremamente fascinante constituir-se-ia por si só num tema para uma tese. Nosso objetivo é bem mais modesto, porém não menos interessante.

(4) Galilei, G., *Dialogo...*, trad. Drake, S., *Dialogue...*, p. 126.

Pretendemos analisar alguns pontos da mecânica de Galileo que foram desenvolvidos a fim de sustentar suas idéias cosmológicas e verificar se eles constituem exemplos de violação de regras metodológicas como afirma Feyerabend.

4.2- Do impetus à inércia circular

Galileo no *Diálogo* tenta desenvolver uma nova mecânica, capaz de sustentar a teoria astronômica de Copérnico, afastar os argumentos dinâmicos que se opõem a ela; para tanto ele introduz novos conceitos que embora incompatíveis com os elementos conceituais do senso comum e de caráter aparentemente especulativo, acabam por abalar a velha dinâmica aristotélica, apesar de que esta só foi completamente abandonada após o desenvolvimento da nova teoria do movimento, feito por Newton.

"O que os fundadores da Ciência moderna, entre os quais Galileo, deviam fazer, (como afirma Koyré) não era criticar e combater certas teorias erradas, para corrigi-las ou substituí-las por outras melhores. Deviam fazer algo inteiramente diverso. Deviam destruir um mundo e substituí-lo por outro. Deviam reformar a estrutura de nossa própria inteligência, formular novamente e rever seus conceitos, encarar o ser de uma nova maneira, elaborar um novo conceito do conhecimento, um novo conceito da ciência e até substituir um ponto de vista bastante natural, o do senso comum, por outro que, absolutamente, não o é". (6)

A mecânica desenvolvida por Galileo, como veremos, além de não se acomodar a fatos óbvios, teorias e princípios há anos estabelecidos, parecia menos abrangente que a dinâmica aristotélica; do ponto de vista ontológico o movimento na dinâmica aristotélica era muito mais amplo que o da mecânica

galileana, pois a primeira, como vimos no Cap. I, era uma teoria geral da mudança compreendendo a locomoção, alteração qualitativa, geração e corrupção; enquanto que a segunda ocupa-se apenas da locomoção.

Galileo rompe com a idéia aristotélica de movimento segundo a qual o movimento é um processo de mudança, "um processo no qual o móvel nunca se acha no mesmo estado (*semper aliter et aliter se habet*)" (7): um corpo em movimento não só muda em relação aos outros corpos mas, ao mesmo tempo, está ele próprio submetido a um processo de mudança.

Este processo, como vimos, sempre exige a ação contínua de uma causa, já que "tudo que é movido deve ser movido (segundo Aristóteles) por algo" (Arist., *Physica*, 241^b 24).

"A física galileana, a física clássica, não mais concebe o movimento como uma mudança, mas -pelo menos quando ele é uniforme- como um verdadeiro *estado*" (8) inteiro e absolutamente oposto ao repouso, o outro *estado*.

Esta nova concepção de movimento está no cerne do princípio da inércia de Galileo (9), já que o movimento sendo um estado ele não necessita de uma causa (ou força) para mantê-lo. Uma força só se fará necessária para transformar o estado de movimento de um dado corpo no estado de repouso,

(6) Koyré, A., *Galilée et Platon*, in *Études d'histoire de la pensée...*, p. 171

(7) Koyré, A., *Le "De Motu-gravium" de Galilée: de l'expérience imaginaire et de son abus*, in *Études d'histoire de la pensée...*, p. 264

e vice-versa. Obviamente, se o movimento não requer uma causa, para mantê-lo, uma vez que ele exista ele poderá continuar para sempre.

4.2.1- Galileo e os precursores da física inercial

Além da nossa concepção de movimento, algumas outras idéias, presentes nos primeiros trabalhos de Galileo, serão importantes para a determinação da sua futura visão inercial; entre elas destacam-se a sua análise da queda dos corpos e do movimento no vácuo.

De acordo com a lei de movimento de Galileo, já expressa no *De motu* (1589 - 1592), a velocidade de queda de um corpo é determinada pela diferença entre os pesos específicos ⁽¹⁰⁾ do corpo e do meio.

$$V = P_e \text{ corpo} - P_e \text{ meio}$$

Onde V = velocidade de queda do corpo

$P_e \text{ corpo}$ = peso específico do corpo

$P_e \text{ meio}$ = peso específico do meio

Portanto Galileo se opõe a Aristóteles, aceitando a visão de que é possível o movimento no vácuo, neste caso a

(8) Koyré, A., *idem*

Devemos salientar que o termo "estado" não é utilizado por Galileo, ele se deve a Descartes.

(9) Devemos notar que Galileo não emprega a palavra inércia. Muitas vezes ele usa a palavra impeto para expressar a sua visão inercial.

velocidade do movimento será proporcional ao peso específico do corpo, já que o peso específico do meio é zero. Afirma Galileo:

"Os corpos se moverão em um vácuo da mesma forma que no pleno. Pois no pleno a velocidade do movimento de um corpo depende da diferença entre seu peso e o peso do meio através do qual ele se move. Do mesmo modo, no vácuo a velocidade do seu movimento dependerá da diferença entre seu próprio peso e aquele do meio. Mas já que este último é zero, a diferença entre o peso do corpo e o peso do vácuo será todo o peso do corpo. E portanto a velocidade do seu movimento (no vácuo) dependerá do seu próprio peso total".⁽¹¹⁾

Segundo Grant, nesta discussão Galileo aparentemente seguiu a tradição que começa com Philoponus e Avempace, onde a velocidade era pensada ser determinada pela diferença - não pela razão, como propunha Aristóteles - entre o peso do corpo e a resistência do meio através do qual ele cai (ver item 2.2.2 desta tese).

Nós, por outro lado, concordamos com Allan Franklin que, embora reconheça que o trabalho de Galileo no *De motu* (especialmente quanto ao movimento de queda livre e movimento no vácuo) evidencia a dívida de Galileo para com Philoponus e Avempace, considera que Galileo no *De motu*, parece também estar em dívida para com Archimedes tanto no seu con-

(10) Galileo definitivamente tinha abandonado a idéia aristotélica de leveza e gravidade. De acordo com a nova visão de Galileo, todas as coisas são pesadas e as coisas são somente mais ou menos ou igualmente pesadas entre si.

teúdo como na sua metodologia axiomática". (12)

Uma vez que Galileo respeita a idéia aristotélica de que o meio sustenta o movimento, surge a necessidade de se explicar o movimento dos projéteis, uma vez perdido o contato com o motor que os lançou.

A explicação de Galileo, no *De motu*, para o movimento de projéteis é bastante semelhante àquela desenvolvida por Philoponus e mais tarde por Francisco de Marchia, que supunham que alguma força motriz incorpórea era cedida pelo propulsor ao projétil, força esta que não era uma coisa de natureza permanente, mas desaparecia até mesmo no vácuo. (13) Esta visão da força matriz incorpórea implica numa postura anti-inercial (ver: ítem 2.2.2 desta tese).

Segundo Koyré o trabalho do jovem Galileo, além de nos mostrar que a física do *impetus* (auto-consumidor) é incompatível com o princípio da inércia, ele nos mostra que a dinâmica do *impetus* é incompatível com um método matemático.

"Nada é mais instrutivo (afirma Koyré) do que o estudo da tentativa (do jovem Galileo de aplicar à física do *impetus* os princípios da "filosofia" matemática) e de seu

(11) Galilei, G. *De motu*, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, Vol.I, trad.I.E.Drabkin, *On Motion* (Madison: University of Wisconsin Press, 1960) apud, Grant, E., ed. *A Source Book in Medieval...*, p. 345.

(12) Franklin, A., *The Principle of Inertia in the Middle Ages*, p. 32. Sobre a posição de Grant ver: Grant, E., ed. *A Source Book in Medieval...*, pp. 342-348

fracasso. Elas nos mostram que é impossível matematizar, isto é, transformar em conceito exato, matemático a grosseira, vaga e confusa teoria do *impetus*. Foi preciso abandonar essa concepção para edificar uma física matemática na perspectiva da estática de Archimedes. Foi preciso formar e desenvolver um conceito novo e original do movimento. É esse novo conceito que devemos a Galileo". (14).

Embora reconhecendo os limites da teoria do *impetus* e a importância da influência arquimediana sobre o trabalho de Galileo, acreditamos que não se pode negar a influência de Philoponus, Avempace e dos nominalistas de Paris no desenvolvimento das idéias de Galileo que culminarão com o estabelecimento do seu princípio da inércia circular. Isto pode ser evidenciado pela similaridade entre as idéias defendidas por Galileo, sobre movimento no vácuo e movimento de queda livre, e aquelas defendidas pelos autores acima citados. Idéias estas, que terão importante papel no estabelecimento da visão inercial de Galileo.

Além disso, a teoria do *impetus* foi largamente discutida no século XVI, particularmente na Itália, portanto direta ou indiretamente Galileo deve ter conhecido as idéias de Philoponus, Avempace, Buridan, Oresme e Albert Saxony (15).

"A despeito da similaridade, das afirmações, o

(13) Devemos lembrar que o *impetus* de Buridan é inteiramente diferente da força motriz incorpórea de Philoponus, uma vez que o primeiro é uma coisa de natureza permanente enquanto o segundo não o é.

impetus de Galileo (como notou Allan Franklin) não contém a idéia de força motriz ou causa do movimento que está incluída na visão medieval. Seu *impetus* é mais um efeito e medida

(14) Koyré, A, Galilée et Platon, in Études d'histoire de la pensée..., pp. 183-184.

A busca de soluções matemáticas para problemas físicos concretos, como o da queda dos corpos e o do movimento de projéteis, é uma característica que marca a nova física de Galileo: "A filosofia se encontra escrita neste grande livro que está sempre aberto diante de nossos olhos - refiro-me ao Universo - ; mas não podemos entendê-lo sem antes aprendermos a língua e conhecermos os símbolos em que está escrito. Este livro está escrito em linguagem matemática, e os símbolos são triângulos, círculos ou outras figuras geométricas sem cuja ajuda é impossível compreender uma só palavra e nos encontraremos num escuro labirinto" (Galilei, G. Il Saggiatore, Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. VI, p. 232)

Esta característica de Galileo, de forte teor platônico, foi amplamente discutida por diversos historiadores da ciência, entre os quais destaca-se Alexandre Koyré. Por isso, não nos deteremos neste ponto que embora bastante interessante, já foi suficientemente discutido e esclarecido. Bastando para os nossos propósitos salientar esta característica de Galileo e notar que o seu platonismo é muito diferente do platonismo da Academia florentina, e que, como afirma Koyré, "há mais de uma escola platônica na história da filosofia e ainda não se acha resolvida a questão de saber se as tendências e as idéias representadas por Jâmblico e Proclo são mais ou menos platônicas do que as de Archimedes.

Como quer que seja não examinarei esse problema. Entretanto, devo indicar que, para os contemporâneos e amigos de Galileo, como para o próprio Galileo, a linha de separação entre o aristotelismo e o platonismo é perfeitamente clara. Com efeito, acreditavam eles que a oposição entre es-

do movimento. É próximo da idéia de conservação de *momentum* e inércia, embora como nós veremos mais tarde Galileo não chegou à afirmação clara e correta destes princípios"⁽¹⁶⁾.

Essa diferença apontada por Allan Franklin está ligada, a nosso ver, à diferença entre a concepção do movimento da física galileana e aquela que sustenta e apóia a física do *impetus* medieval. Isso porque, como já vimos, o movimento, para Galileo, é um estado e portanto não necessita de uma causa. No segundo caso, embora o movimento não seja mais interpretado como um processo de atualização, como ocorre na dinâmica aristotélica, ele continua a ser entendido como "uma mudança e, como tal, é preciso que se explique pela ação de uma força ou de uma causa determinada. O *impetus* é precisamente essa causa imanente que produz o movimento"⁽¹⁷⁾.

Diante destas considerações concluímos que tanto o trabalho dos precursores medievais da física do *impetus* co

sas duas filosofias era determinada pelos pontos de vistas diferentes sobre as matemáticas enquanto ciência e sobre o seu papel na criação da ciência da natureza...

...a ciência galileana, a filosofia galileana da natureza se afigurava como um retorno a Platão, como uma vitória de Platão sobre Aristóteles (Koyré, A, Galilée et la Révolution..., in Études d'histoire..., p. 212), já que Galileo provou algo que ninguém até então havia provado, a saber, que o movimento de queda dos corpos é sujeito à lei dos números. O movimento governado pelos números. Com isso Galileo refutou um importante argumento aristotélico segundo o qual não é possível se estabelecer leis matemáticas da qualidade, e consequentemente do movimento. Não há movimento no número, segundo Aristóteles.

mo os de Archimedes constituem um passo adiante para o princípio da inércia.

4.2.2- Princípio da inércia circular

O princípio da inércia ao ser introduzido na mecânica do sistema solar, lançou uma luz inteiramente nova, tornando aceitável a cosmologia proposta por Copérnico.

Tal princípio, embora só tenha sido definido perfeitamente por Newton, já havia sido esboçado por Galileo, no segundo dia do *Diálogo...*, pouco antes de responder à objeção aristotélica baseada no argumento da torre.

Simplício é induzido por Salviati a enunciar o princípio da inércia na seguinte passagem onde eles discutem a queda de pedras do topo do mastro de um navio em movimento e a partir do topo do mastro do mesmo navio parado.

"Salv: Você diz, então, que quando o navio está parado a pedra cai ao pé do mastro, e quando o navio está em movimento ela cai separada dele, então reciprocamente, a partir da queda da pedra junto ao pé do mastro é inferido que o navio está parado, e a partir de sua queda distante dele pode ser deduzido que o navio está-se movendo. E visto que, o que acontece no navio deve, do mesmo modo, acontecer na Terra, a partir da queda da pedra junto ao pé da torre necessa-

(15) É importante notar que Galileo não parece conhecer a importante crítica de Averroes a Avempace (sobre esta crítica ver Ítem 2.2.2 desta tese, e para maiores detalhes ver: Grant, E., (ed.) A Source Book in Medieval... pp. 253-262).

riamente se infere a imobilidade do globo terrestre. É este seu argumento?

Simp: É exatamente este, brevemente exposto, que é facilmente entendido.

Salv: Agora diga-me: Se a pedra deixada cair do topo do mastro quando o navio estava navegando rapidamente, caísse exatamente no mesmo lugar do navio ao qual ela caiu quando o navio estava parado, que uso você poderia fazer desta queda com respeito ao determinar se o navio estava parado ou movendo-se.

Simp: Absolutamente nenhum...

Salv: Muito bem. Agora, você fez alguma vez este experimento do navio?

Simp: Eu nunca o fiz, mas creio que certamente as autoridades que o citam observaram-no cuidadosamente. Além disso, a causa da diferença é tão exatamente conhecida que não há lugar para dúvida" (18).

Diante desta resposta de Simplício, Salviati afirma que, do mesmo modo que simplício citou tal experimento, tomando-o por certo sem nunca tê-lo feito, e confiou nos comentários de seus predecessores, poderiam estes terem feito a mesma coisa.

Salviati chega mesmo a duvidar se algum dia se chegaria a alguém que o tivesse feito, pois, na sua opinião,

(16) Franklin, A., The Principle of Inertia in the Middle Age, p. 54.

(17) Koyré, A., Galilée et Platon, in Études d'histoire de la pensée, p. 182.

se alguém tivesse feito tal experimento teria encontrado que ele mostra exatamente o oposto do que é afirmado por Simplício, isto é, ele mostra que a pedra sempre cai no mesmo lugar do navio, independentemente do navio estar parado ou movendo-se.

Portanto, nada pode ser inferido a partir desse experimento, com respeito ao movimento do navio. Analogamente, nada pode ser inferido acerca do movimento ou repouso da Terra a partir da queda da pedra sempre perpendicular ao pé da torre.

Simplício contra-ataca Salviati, afirmando:

"Simp: Você (Salviati) não fez uma centena de testes, ou pelo menos um? E assim mesmo declara gratuitamente que ele é certo? Eu mantereí minha incredulidade, e minha própria confiança que o experimento tenha sido feito pelos mais importantes autores que fizeram uso dele, e que ele mostra o que eles dizem que mostra".

(Salviati em contra-partida declara que:)

"Salv: Sem experimento eu estou certo de que o efeito acontecerá como eu digo a você, pois ele tem que acontecer desta maneira; e eu poderia acrescentar que você próprio também sabe que não poderia ocorrer de outra maneira; embora você possa tentar não saber isso - ou dar esta impressão - mas, eu sou tão hábil em capturar a mente das pessoas que eu farei você admitir isso, apesar de você mesmo" (19).

Em seguida Salviati apresenta uma questão a Sim-

(18) Galilei, G. 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogo, p. 144.

plício a partir da qual este, passo a passo, será levado a admitir que seu opositor, Salviati, estava com a razão ao afirmar que a pedra lançada do topo do mastro de um navio cairá sempre no mesmo lugar independentemente do movimento deste.

A questão apresentada por Salviati é sobre qual seria o movimento de uma bola, perfeitamente esférica e feita de algum material duro e pesado como o bronze, quando solta sobre uma superfície plana, lisa como um espelho e feita de algum material duro como o aço, e um pouco inclinada em relação ao horizonte.

A esta pergunta Simplício responde:

"Simp: ...Eu estou certo que ela rolaria espontaneamente para baixo".

Salviati, a fim de confundir Simplício e levar seu argumento ao ridículo, tenta persuadí-lo do contrário, porém este continua certo de que a bola rolaria espontaneamente para baixo.

Diante da certeza de Simplício, Salviati comenta:

"Salv: E você considera isso garantido não porque eu lhe disse isso - na verdade eu tentei persuadí-lo do contrário - mas por você mesmo, por meio do seu próprio senso comum.

Simp: Oh, agora eu vejo seu truque; você falou como falou (que a bola ficaria parada) para me jogar num lim-

(19) Galilei, G. 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p. 145.

bo, ..., e não porque você realmente acreditasse naquilo que disse.

Salv: É verdade. Agora, quanto tempo a bola continuaria a rolar e quão rápido? Lembre-se que eu disse uma bola perfeitamente redonda e uma superfície altamente polida, para remover todos os impedimentos externos e acidentais. Do mesmo modo eu quero que você afaste qualquer impedimento do ar causado pela sua resistência à separação e todos os outros obstáculos acidentais, se houver algum"⁽²⁰⁾.

A esta pergunta, Simplicio responde:

"Simp: ... Eu respondo que a bola continuaria a mover-se indefinidamente, enquanto se estendesse a inclinação da superfície, e com um movimento continuamente acelerado. Pois tal é a natureza dos corpos pesados, os quais *vires acquirunt eundo*, e quanto maior a inclinação maior será sua velocidade.

Salv: Mas se eu quisesse que a bola se movesse para cima desta mesma superfície, você acha que ela iria?

Simp: Não espontaneamente; mas puxada ou arremessada com força ela iria.

Salv: Mas se ela fosse empurrada adiante com algum *impetus* impresso com força sobre ela, qual seria o movimento e quão grande?

Simp: O movimento se tornaria constantemente mais lento e seria retardado, sendo contrário à natureza, e

(20) Galilei, G., 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p. 146

seria de duração mais longa ou mais curta de acordo com o impulso maior ou menor e a inclinação menor ou maior" (21).

Diante destas respostas de Simplício, Salviati apresenta a questão crucial ao seu opositor:

"Diga-me, agora, o que aconteceria se o mesmo corpo móvel fosse colocado sobre uma superfície sem nenhuma inclinação para cima ou para baixo?"

(Ao responder esta questão, Simplício sem perceber, é induzido, por Salviati, a enunciar o princípio da inércia galileana)

"Simp: Aqui eu devo pensar um momento acerca da minha resposta. Não havendo inclinação para baixo, não pode haver nenhuma tendência natural ao movimento, e não havendo nenhuma inclinação para cima, não pode haver resistência a estar movendo-se, assim haveria uma indiferença entre a tendência e a resistência ao movimento. Portanto, parece-me que ela naturalmente deve permanecer estável". (22).

Salviati concorda com Simplício, desde que a bola tivesse sido colocada sobre o plano, completamente parada.

Mas o que aconteceria se a ela fosse dado um *im*petus em qualquer direção?

Segundo Simplício, a bola se moveria naquela direção.

(21) Galilei, G. 'Dialogo...', trad. Drake, S., Dialogue..., p. 146 - **vires acquirunt eundo*: "Ganham força à medida que andam".

(22) Galilei, G., Dialogo, trad. Drake, S. Dialogue, p. 147.

Mas com que tipo de movimento? Seria continuamente acelerado, como na caso do plano inclinado para baixo ou crescentemente retardado como no caso do plano inclinado para cima?

Siplício responde:

"Simp: Eu não posso ver qualquer causa para a aceleração ou desaceleração, não havendo inclinação para baixo ou para cima.

Salv: Exatamente. Mas se não há causa para o retardamento da bola, muito menos para a sua chegada ao repouso; então por quanto tempo você teria a bola movendo-se?

Simp: Tanto quanto a extensão da superfície continuasse sem elevar-se ou declinar-se.

Salv: Então se tal espaço fosse ilimitado, o movimento nela seria do mesmo modo ilimitado? Isto é, perpétuo?

Simp: Parece-me que sim, se o corpo fosse de um material durável (23).

Como vemos, passo a passo, Simplício foi levado pelo seu adversário a admitir que: uma bola perfeitamente esférica e de um material extremamente duro, movendo-se sem atrito sobre uma superfície plana sem qualquer inclinação, continuaria a executar seu movimento sem limites, 'perpétuo'. Ou seja, Simplício foi levado a admitir o princípio da inércia.

Até aqui Galileo discutiu o movimento da bola sobre uma superfície plana, inicialmente não paralela ao hori-

(23) Galilei, G., 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p. 147.

zonte, mas um pouco inclinada; em seguida o mesmo corpo móvel é colocado sobre uma superfície sem nenhuma inclinação, para cima ou para baixo, ou seja, sobre uma superfície horizontal. E é sobre esta superfície que Galileo enuncia seu princípio da inércia.

Assim podemos dizer que até o momento Galileo enunciou o princípio da inércia tal qual Newton o fez anos mais tarde - todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, exceto quando é compelido por uma força aplicada sobre ele a mudar seu estado.

Porém, ao tentar justificar o movimento espontâneo da bola sobre a superfície plana inclinada para baixo e somente forçado sobre a superfície plana inclinada para cima, Galileo comete uma falácia que acabará por comprometer o seu princípio. Isto se dá quando Salviati questiona:

"Salv:.... O que você considera ser a causa da bola mover-se espontaneamente sobre o plano inclinado para baixo, mas somente forçada sobre um inclinado para cima?

Simp: Que a tendência dos corpos pesados é mover-se para o centro da Terra, e para mover-se para cima de sua circunferência somente com força; agora a superfície inclinada para baixo é aquela que aproxima-se do centro, enquanto que a superfície inclinada para cima afasta-se dele.

Salv: Então de acordo com isso, para uma superfí-

(24) Galilei, G., 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p. 148.

(25) Feyerabend, P.K. (1977) 'Against Method, Contra o Método', (Rio de Janeiro: F. Alves), p. 131.

cie ser nem para cima nem para baixo, todas as suas partes devem estar igualmente distantes do centro da Terra. Haverá, no mundo, algumas superfícies como estas?

Simp: Muitas delas, tal seria a superfície do nosso globo terrestre se ele fosse liso, e não acidentado e montanhoso como ele é. Mas há aquelas das águas, quando estão plácidas e tranquilas" (24).

Como vemos no momento em que Galileo tenta justificar o movimento da bola e conseqüentemente justificar seu princípio da inércia, ele é levado, pela justificação encontrada, a supor a superfície em questão não mais horizontal mas sim circular.

E é precisamente por isso que Galileo jamais enunciou a lei da inércia na sua forma definitiva; o que ele formulou, foi o que talvez poderíamos chamar, como propõe Feyerabend, de princípio da inércia circular: - "um objeto, que se move, com determinada *velocidade angular* em uma esfera livre de atrito, ao redor da Terra, continuará a mover-se com a mesma *velocidade angular*, para todo o sempre" (25).

Também no *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica ed ai Movimenti Locali* Galileo chega muito próximo da versão correta do princípio ao discutir o movimento de projéteis - um movimento composto por outros dois, a saber, um movimento uni-

(26) Galilei, G., Discorsi e Dimostrazione Matematiche intorno a due nuove scienze ... (1638) Edizione Nazionale delle Opere di Galileo, vol. VIII, trad. Pablo R. Mariconda e Letizio Mariconda, *Dois Novas Ciências* (São Paulo: Nova Stella Editorial) p. 197.

forme e outro naturalmente acelerado - cuja geração Galileo concebe da seguinte maneira: "imagino (afirma ele) que um móvel foi projetado sobre um *plano horizontal* livre de qualquer obstáculo; já é evidente, de acordo com o que expusemos longamente em outro lugar, que dito móvel se movimentará sobre esse mesmo plano com um *movimento uniforme e perpétuo*, supondo que esse plano seja prolongado ao infinito. Se, ao contrário, supomos um plano limitado e situado a uma certa altura, um móvel que supomos dotado de gravidade, uma vez chegado à extremidade do plano e continuando seu curso, acrescentará ao anterior *movimento uniforme e indestrutível*, a tendência de ir para baixo, devido a sua própria gravidade; origina-se, assim, um movimento composto de um movimento horizontal uniforme e de um movimento descendente naturalmente acelerado, que chamo projeção" (26).

Este móvel descreverá, em seu deslocamento, de acordo com o Teorema I - Proposição I, dos *Discorsi*, uma linha semiparabólica.

Simplício, comentando a demonstração de Salviati da primeira proposição sobre o movimento de projéteis, afirma que esta está diante de algumas dificuldades, entre elas uma que consiste "em supor que um plano horizontal, que não está em aclave nem em declive, é uma linha reta como se uma tal linha fosse em todas as suas partes equidistantes do centro, o que não é verdade, pois, partindo do meio, vai em di-

(27) Galileo, G., *Discorsi e Dimostrazioni ...*, trad. P. Mariconda e L. Mariconda, *Duas Novas Ciências*, p. 202.

(28) Ídem

reção a suas extremidades afastando-se cada vez mais do centro, elevando-se sempre; segue-se disso que é impossível que o movimento se perpetue, e tampouco se mantenha uniforme para qualquer distância, mas irá sempre diminuindo" (27).

Salviati reconhece que esta dificuldade está bem fundamentada e que é impossível removê-la; portanto a aceita, e concorda que as conclusões assim demonstradas em abstrato se alteram na realidade e se mostram a tal ponto inexatas que nem o movimento transversal é uniforme, nem a aceleração natural acontece segundo a proporção suposta (devido à impossibilidade de suprimir a resistência do meio), nem a trajetória de um projétil é parabólica, etc..." (28).

Porém Salviati considera que a autoridade de Archimedes pode por si só tranquilizar qualquer um, posto que, em sua *Mecânica* e na primeira parte da *Quadratura da Parábola*, toma como um princípio verdadeiro que o braço da balança é uma linha reta, na qual todos os pontos são equidistantes do centro comum dos graves, e que as cordas, às quais estão suspensos os pesos, são paralelas entre si. Alguns desculpam esta arbitrariedade considerando que na prática nossos instrumentos e as distâncias com as quais operamos são tão pequenas em comparação com a distância que nos separa do centro do globo terrestre, que muito bem podemos tomar um minuto de um grau de um círculo enorme como se fosse uma linha

(29) Galileo, G., *Discorsi e Dimostrazioni* ..., trad. P. Mariconda e L. Mariconda, *Duas Novas Ciências*, pp. 202-203.

reta e duas perpendiculares, que pendem de suas extremidades, como se fossem paralelas. Caso na prática devêssemos levar em contas esses detalhes, deveríamos começar censurando os arquitetos, os quais, utilizando o fio de prumo presumem levantar altíssimas torres de lados paralelos" (29). Acrescenta-se a isso que as suposições de Archimedes não eram falsas e que, portanto suas demonstrações eram perfeitamente concludentes.

Porém se quisermos aplicar as conclusões demonstradas para distâncias infinitas às distâncias finitas, devemos segundo Galileo efetuar correções. Contudo, a nossa distância do centro da Terra, embora não seja realmente infinita, é tal que pode ser considerada imensa, quando comparada com a deficiência de nossos instrumentos; "o lançamento de projéteis (...) e, entre eles, consideramos somente os projéteis de artilharia, cujo alcance, por maior que seja, não ultrapassará quatro milhas, enquanto que são muitos milhares de milhas que nos separam do centro da Terra" (30).

Podemos, portanto concluir, segundo Salviati, que os erros que aparecem nas conclusões, estabelecidas por abstração dos acidentes externos, serão de pouca importância para nossos instrumentos, em razão das distâncias, que são muito pequenas em relação à grandeza do raio e dos círculos máximos do globo terrestre.

Como vemos, Galileo usa o seu princípio da inér-

(30) Galileo, G. Discorsi e Dimostrazioni ..., trad. P. Mariconda e L. Mariconda, p. 203.

cia circular sem maiores problemas para garantir que o movimento uniforme em uma linha reta deve-se perpetuar (desde que não haja nenhuma força em direção contrária). O que nos leva a concordar com Stillman Drake quando ele afirma:

"Galileo, na condição de físico, tratou os movimentos inerciais como retilíneos. Não obstante, Galileo, na condição de propagandista, ao escrever o *Dialogo*, assinalou que o movimento retilíneo não pode ser perpétuo, enquanto po de sê-lo o circular... Por isso mesmo, quando no *Dialogo*, leio o elogio metafísico dos círculos, não concluo, com a maioria dos historiadores, que o autor foi incapaz de fugir ao sortilégio das antigas tradições; antes, suspeito fortemente de que, nessas passagens, haja um propósito último⁽³¹⁾.

(31) Drake, S., Galileo Studies, Ann. Arbor, 1970, p. 253.

Drake em outro artigo - Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertial: Unpublished Manuscripts (*I sis*, 64, 233, sep. 1973)

- apresenta argumentos adicionais para sustentar a sua tese de que Galileo realmente acreditava numa espécie de inércia horizontal, que se baseiam em algumas notas manuscritas, de Galileo, sobre o movimento, recentemente descobertas. Estas constituem algumas páginas que não foram publicadas por Antonio Favaro, quando este editou e publicou as notas manuscritas de Galileo. Este corte ocorreu porque estas páginas continham somente cálculos ou diagramas sem proposições ou explicações anexas.

A apresentação destes documentos é feita, por Drake, no contexto de uma reconstrução hipotética do pensamento de Galileo. Segundo Drake, neste material não publicado, se encontra no mínimo um grupo de notas que não podem ser expli-

Este propósito, a nosso ver, era o de dar apoio à teoria copernicana e escapar às dificuldades do argumento da torre.

Além disso, como afirma Feyerabend, o princípio da inércia circular foi defendido por Galileo através de hipóteses ad hoc. Ele é introduzido sem referência a experimentos, ou observações independentes, mas por referência ao que supostamente todos já conheciam.

"Passo a passo, Simplicio é forçado a admitir que um corpo que se move sem atrito em uma esfera concêntrica com o centro da Terra executará um movimento 'sem limites e perpétuo'. Esta afirmação, é claro, não se baseia sobre a experiência nem sobre teoria corroborada; é uma nova e ousada sugestão envolvendo um extraordinário salto de imaginação. Uma análise um pouco mais profunda mostra, em perfeita concordância com o que nós encontramos no caso do te-

cadas, satisfatoriamente, exceto como representação de uma série de experimentos projetados para testar uma suposição fundamental, que levou a uma nova e importante descoberta. Além disso, afirma Drake, nestes documentos são apresentados dados empíricos numericamente precisos, e estes são comparados com valores calculados a partir da teoria, a fonte das discrepâncias com outros resultados esperados é notada, e um novo experimento é projetado para eliminar esta, e dados empíricos são documentados.

A discussão destas notas manuscritas não publicadas de Galileo e das consequências epistemológicas que Drake deriva deste seu estudo, bem como a análise do longo debate entre historiadores que a interpretação de Drake suscitou nos desviaria dos nossos objetivos, talvez em outra ocasião fosse interessante fazê-la.

lescôpio, que a sugestão está conectada a experimentos através de hipóteses ad hoc; pois a importância do atrito a ser eliminada não decorre de investigação independente - tais investigações só começaram muito mais tarde, no século dezoito - , mas decorre do resultado a ser atingido, a saber, a lei da inércia circular... Contemplar os fenômenos naturais neste modo leva-nos a uma completa reavaliação de toda a experiência, ou, como nós podemos agora dizer, leva-nos à invenção de um novo tipo de experiência sofisticada mas também muito mais especulativa do que é a experiência de Aristóteles ou do senso comum. Paradoxalmente falando (mas não incorretamente), nós podemos dizer que a "experiência" de Galileo contém ingredientes metafísicos" (32).

Agora uma vez admitido o princípio da inércia circular, por Simplicio, Salviati retorna à discussão da queda de uma pedra do topo do mastro de um navio em movimento. Questionando:

"Salv: ... um navio, quando se move sobre um mar calmo, é um desses móveis que percorrem sobre uma superfície que não é nem para cima nem para baixo, e se todos os obstáculos acidentais e externos fossem removidos, ele então iria dispor-se a mover-se incessantemente e uniformemente, uma vez recebido um impulso?" (33).

Simplicio não tem outra saída a não ser reconhecer que sim.

(32) Feyerabend, P.K., Problems of Empiricism, Part. II, p. 322.

Salviati continua seu argumento, questionando: a pedra colocada no topo do mastro do navio não se moveria carregada pelo navio, ao longo da circunferência de um círculo ao redor do seu centro, tal qual faz o navio? E consequentemente não haveria na pedra um movimento inerradicável, uma vez removidos todos os impedimentos externos? E a velocidade deste movimento não seria a mesma do navio?

Novamente Simplício é levado a reconhecer que sim.

Salviati vitorioso, afirma:

"Salv: Continue e deduza a consequência final por si mesmo, dado que por si mesmo você conheceu todas as premissas.

Simp: Por conclusão final você entende que a pedra, movendo-se com um movimento permanentemente fixo, não vai deixar o navio, mas o seguirá, e finalmente cairá no mesmo lugar onde ela caiu quando o navio permanecia imóvel?"⁽³⁴⁾.

Simplício afirma que isto aconteceria se não houvesse nenhum impedimento externo a interromper o movimento da pedra depois dela ser posta em liberdade. Porém ele aponta dois impedimentos ao movimento, a saber, primeiro a incapacidade do corpo móvel romper o ar apenas com seu próprio *impetus*, uma vez perdida a força do remo que ele compartilhava, como parte do navio, enquanto estava no topo do mastro; e segundo o novo movimento de queda para baixo, deve impedir

(33) Galilei, G. 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p.143.

(34) idem

o seu movimento para frente.

No que diz respeito ao impedimento do ar Salviati o reconhece como existente, porém faz a ressalva que a resistência do ar só seria significativa se o corpo que estivesse caindo fosse um material muito leve, tal qual uma pena ou um tufo de lã, o que não é o caso, pois a pedra em questão é pesada, portanto afirma Salviati: Se a força do mais bravio dos ventos não é suficiente para mover uma grande pedra do seu lugar, imagine quanto um ar calmo poderia conseguir contra uma pedra que se move tanto quanto o navio (35).

Quanto ao outro impedimento, - a saber que o novo movimento, o da queda, impediria o movimento da bola para frente - é descartado por Salviati. Discutiremos no item 4.3 a justificativa que ele apresenta para sua atitude.

Uma vez descartados ambos os impedimentos, só resta concluir que: devido ao princípio da inércia circular, uma pedra deixada cair do topo de um mastro de um navio em movimento cairá no mesmo lugar onde ela cairia se o navio estivesse parado.

(35) Galilei, G. 'Dialogo...', trad. Drake, S. Dialogue..., p. 149.

4.3- Movimentos Compostos e a Relatividade dos Movimentos

"Pode-se aprender como facilmente alguém pode ser enganado pelas simples aparências, ou melhor, pelas impressões dos sentidos (a partir do seguinte evento, que nós realmente vemos muitas vezes). Este evento é a impressão, daqueles que andam ao longo de uma rua pela noite, de estar sendo seguido pela Lua, com passos iguais aos seus, quando eles a veem deslizando ao longo das beiras dos telhados. Aparece-lhes como lhes aparecia um verdadeiro gato, deslizando pelas telhas e colocando-se por detrás delas; uma impressão, que se a razão não intervisse, obviamente enganaria os sentidos".

*Galileo Galilei**

Na discussão em torno da possibilidade do movimento da Terra (Ítem 2.2.3) vimos que Oresme na sua análise da compatibilidade da rotação diurna da Terra com os fenômenos astronômicos e a física terrestre defendia que o movimento das coisas que caem, no caso da Terra ter um movimento de rotação diário, seria na realidade uma composição dos movimentos retilíneos e circular. Oresme explicava a não observação deste movimento composto a partir de algumas idéias, que ele atribuía a Witelo, sobre a relatividade óptica do movimento. O movimento local não pode ser percebido sensivelmente, a não

*Galilei, G., Dialogo..., trad. Drake, S. Dialogue...
p. 256.

ser tanto quanto se percebe que um corpo esteja em movimento em relação a outro corpo. Como notamos, naquela ocasião, Witelo teria, possivelmente desenvolvido esta visão a partir de Alhazen.

Copérnico compartilhou de opiniões semelhantes às de Oresme sobre composição e relatividade do movimento.

Porém Copérnico, no seu *De Revolutionibus...*, não apresenta uma justificativa convincente para o acompanhamento por parte das coisas que caem do movimento de rotação da Terra. Segundo Copérnico, isso se passava assim ou devido à natureza comum da Terra e coisas terrestres ou porque o movimento do ar e de tudo que está suspenso no ar é adquirido, uma vez que eles compartilham com a Terra da sua rotação incessante, devido à contiguidade e à ausência de resistência.

Além disso, nem Copérnico nem Oresme romperam com a idéia aristotélica de um Cosmo hierarquicamente ordenado, governado por leis distintas. Conseqüentemente suas idéias sobre o duplo movimento natural (retilíneo e circular) corpos terrestres simples e a falta de uma física alternativa, composta de novas leis do movimento que governassem estes novos movimentos naturais, constituíram uma anomalia dentro da ciência medieval e renascentista.

Galileo ao apresentar uma nova mecânica que rompia com a distância hierarquica entre o movimento celeste e o terrestre, anulou esta anomalia. Esta ruptura de Galileo, permitiu, além disso, que o movimento perpétuo pudesse ser concebido, sem incorrer em contradição, também para os obje-

tos terrestres, passo essencial para a sua visão aproximadamente inercial.

Este rompimento de Galileo com a idéia aristotélica de Cosmo hierarquicamente ordenado será fundamental para o nascimento da ciência moderna, cuja atitude intelectual, segundo Koyré, pode ser caracterizada por:

19) A destruição do Cosmo e, conseqüentemente, o desaparecimento, na ciência, de todas as considerações baseadas nessa noção;

20) A geometrização, isto é, a substituição da concepção aristotélica de um espaço cósmico qualitativamente ordenado e concreto, pelo espaço homogêneo e abstrato da geometria euclidiana.

"A dissolução do Cosmo significa a destruição de uma idéia: a idéia de um mundo de estrutura finita, hierarquicamente ordenado, de um mundo qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico; ela é substituída pela idéia de um Universo aberto, indefinido e até infinito, que é unificado e governado pelas mesmas leis universais; um Universo no qual todas as coisas pertencem ao mesmo nível do Ser, contrariamente à concepção tradicional que distinguia e opunha os dois mundos do Céu e da Terra. Doravante, as leis do Céu e as leis da Terra se fundem. A astronomia e a física tornam-se interdependentes, e mesmo unificadas e unidas. Isso implica o desaparecimento, da perspectiva científica, de todas as considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia, na significação e no desígnio. Tais considerações

desaparecem no espaço infinito do nosso Universo. É nesse novo Universo, nesse novo mundo onde uma geometria se faz realidade, que as leis da física clássica encontram valor e aplicação.

A dissolução do Cosmo, repito, parece-me a revolução mais profunda realizada ou sofrida pelo espírito humano desde a invenção do Cosmo pelos gregos" (36).

E embora, como sabemos, Galileo não tenha sido o primeiro a apresentar a idéia de mistura, composição, de movimentos retilíneo e circular, ele certamente foi o primeiro a apresentar leis que governassem e explicassem tais movimentos. Um corpo, dentro da nova mecânica galileana, pode mover-se "e ainda nem aproximar-se nem afastar-se do centro da Terra, os movimentos de tais corpos, girando ao redor do centro da Terra, não poderiam ser chamados nem de naturais nem de provocados mas de neutros" (37).

Também a relatividade óptica do movimento já estava presente nas discussões medievais, porém para salvaguardar a concepção copernicana, como Feyerabend salienta, é preciso explicar não apenas porque o movimento compartilhado não é percebido, mas explicar, também, por que o movimento compartilhado de vários objetos não afeta nem a eles nem a relação entre eles.

Isto é explicado, como veremos, pela mecânica galileana a partir de sua nova concepção de movimento, segundo a qual o movimento não afeta de modo algum o corpo que dele

(36) Koyré, A., Galilée et Platon, in Études d'histoire de la pensée..., pp. 170-171.

é dotado, contrariamente ao que previa a física aristotélica, onde cada movimento afeta o corpo e interfere com cada um dos outros movimentos, chegando mesmo a impedir-lhes. A nova mecânica considera que o movimento comum de um sistema de corpos não altera de modo algum as relações destes corpos entre si.

Uma vez que, para Galileo, "estar em movimento ou estar em repouso não faz diferença para o corpo em movimento ou em repouso, não lhe traz nenhuma alteração. O corpo, como tal, é totalmente indiferente a um outro. Por conseguinte, não podemos atribuir o movimento a um determinado corpo considerado em si mesmo. Um corpo não está em movimento senão em relação a algum outro corpo que supomos em repouso. Todo movimento é relativo. Portanto, podemos atribuí-lo a um ou outro dos dois corpos, *ad libitum*" (38).

Passaremos agora a analisar o princípio da relatividade de Galileo tal qual foi enunciado no *Dialogo* (39).

Galileo para fundamentar seu argumento contra a objeção aristotélica à mobilidade da Terra, baseada no argumento da Torre, enuncia a sua lei da inércia, que seria uma espécie de inércia circular, desenvolve uma nova mecânica para analisar o movimento de queda dos corpos pesados e finalmente introduz seu princípio da relatividade e a sua análise dos movimentos compostos.

(37) Shea, Willian, R., Galileo's intellectual revolution - Middle period, 1610 - 1632 (2ª ed.) (New York: Neale Watson, 1977), p. 168.

Diz ele: Uma bola lançada para cima ascende mais e mais vagarosamente e então cai sobre o solo, sendo que a velocidade de queda cresce com o tempo e algum retardamento sofrido por ela é atribuído à resistência que o ar oferece ao movimento em questão.

Como já havíamos visto no item 4.2, quando discutíamos a análise galileana do movimento de projéteis em planos inclinados, Galileo concorda com os aristotélicos, quando estes afirmam "que a tendência dos corpos pesados é mover-se para o centro da Terra, e para mover-se para cima de sua circunferência somente com força" (40). Porém Galileo discorda radicalmente de seus adversários quando estes afirmam que o movimento em questão, em direção do centro da Terra, é uma linha reta.

"Salv: Se a Terra está fixa, a pedra deixará seu repouso e descenderá verticalmente; porém se a Terra se move, a pedra, estando, do mesmo modo, movendo-se com igual velocidade, não deixa o repouso mas um estado de movimento igual à quele da Terra. Com este ele mistura seu sobrevivendo movimento para baixo, e compõe a partir deles um movimento oblíquo" (41).

(38) Koyré, A., Galilée et Platon, in Études d'histoire de la pensée ..., pp. 184 - 185.

(39) Para uma análise detalhada da evolução das idéias de Galileo sobre relatividade dos movimentos ver: Martins, R., Galileo e o Princípio da Relatividade, cadernos de História e Filosofia da Ciência, (9), 1986, p.

Segundo Martins, Galileo, após 1610, ao ler e comentar a obra de Ludovico delle Colombe, na qual são encontra-

Porém de acordo com a visão aristotélica, ainda que fosse verdade que a Terra se move, não é verdadeira a tese de que o movimento real da pedra é oblíquo, isto porque, segundo eles, o novo movimento, a queda-livre da pedra, deve impedir seu outro movimento (circular ao redor da Terra).

A esta objeção Salviati responde:

"Salv: ... Em primeiro lugar é óbvio que esses dois movimentos (o circular ao redor do centro e o movimento retilíneo em direção ao centro) não são contrários, nem são mutuamente destrutivos, nem incompatíveis" (42).

Assim, para os copernicanos o movimento das pedras caindo não é retilíneo, mas uma mistura dos movimentos circular e retilíneo.

Até o momento Salviati conseguiu convencer seu adversário, Simplicio, de que uma pedra lançada do topo do mastro de um navio em movimento cairá no mesmo lugar onde ela cairia se o navio estivesse parado. Que o movimento da pedra em questão seria a um tempo, retilíneo e circular, movimentos estes que se misturariam, não se alterariam, nem se atrapalhariam, nem mesmo se impediriam mutuamente.

dos inúmeros exemplos contra o movimento da Terra, "ainda não possuía uma concepção clara do princípio de relatividade; confusamente, ele sabia que era preciso utilizar a idéia de inércia (ou do impetus), e fazer composição de movimentos; mas ele acaba recaindo em raciocínios aristotélicos sobre movimentos circulares naturais, e dá importância a efeitos produzidos pelo arrastamento do ar, que não são centrais" (Martins, R., Galileo e o ..., p. 21)

A questão que surge é porque o componente circular do movimento de queda passa despercebido aos olhos de um observador a bordo do navio, ou analogamente porque não percebemos o movimento circular de uma pedra que cai do topo de uma torre.

"Simp: ... Se ela (a pedra) se move obliquamente, porque eu a vejo movendo-se retilineamente e perpendicularmente? Isto é uma deslavada negação do sentido manifesto; e se os sentidos devem ser desacreditados, por qual outro portal nós entraremos no filosofar?

Salv: Com respeito à Terra, à torre, e a nós próprios, do mesmo modo que tudo, conservam-se movendo-se com o movimento diurno junto com a pedra; o movimento diurno é como se não existisse; ele permanece insensível, imperceptível, e sem qualquer efeito. Tudo que permanece observável é o movimento que nós carecemos, que é a queda para a base da torre. Você não é o primeiro a sentir uma grande repugnância em reconhecer esta qualidade não-operativa do movimento compartilhado por várias coisas"⁽⁴³⁾.

Devemos notar como o fez Clavelin que "embora um observador preso no porão de um navio considere impossível dizer se ele está em repouso ou em movimento, esta impossibilidade é de um tipo diferente daquela associada com as aparências, ela emerge do fato de que o movimento não altera

(40) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., p. 148.

(41) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., p. 171.

de modo algum as relações de um sistema de corpos, uma vez que todos eles compartilham igualmente dele. Nós vimos anteriormente que, a partir de um ponto de vista puramente óptico, o movimento e o repouso podiam ser atribuídos indiferentemente ao observador ou ao objeto observado; nós sabemos, agora, que não há nenhum modo de dizer dentro de um sistema (pelo menos sob certas condições) se o sistema está em movimento ou em repouso. Do princípio de relatividade visual nós passamos para o princípio de relatividade mecânica" (Clavelin, M., *La philosophie naturelle de Galilée*, trad. Pomerans, A.J., *The natural Philosophy of Galileo*, p. 228.

Diante da idéia da ineficácia e da falta de consequências do movimento comum de muitos corpos para a relação destes corpos entre si - nada sendo alterado entre eles - e de que só é operativo o movimento que eles não têm em comum, Sagredo recorda uma certa fantasia que ele tivera quando viajava para Alepo, onde exerceria as funções de consul:

"Sag: Se a ponta de uma pena tivesse sido colocada sobre o navio durante toda a minha viagem de Veneza a Alexandreta e ela tivesse a propriedade de deixar marcas visíveis de toda sua viagem, que traço - que marca - que linha deixaria?

Simp: Teria deixado uma linha estendendo-se de Veneza até lá; não perfeitamente reta - ou melhor, não acompanhando um arco perfeito de um círculo - porém mais ou me-

(42) Galilei, G., *Dialogo ...*, trad. Drake, S., *Dialogue ...*, p. 149.

nos ondulante de acordo com a oscilação do navio. Mas este desvio em alguns lugares de uma ou duas jardas para a direita ou para a esquerda, para cima ou para baixo, em uma extensão de muitas centenas de milhas teria feito pouca alteração na extensão completa da linha. Estas (oscilações) mal seriam sensíveis, e sem um erro de qualquer importância, ela (a linha) poderia ser considerada como parte de um arco perfeito.

Sag: De modo que, se a flutuação das ondas fosse desconsiderada e o movimento do navio fosse calmo e tranquilo, o verdadeiro e preciso movimento daquela ponta de pena teria sido um arco de um círculo perfeito. Agora se eu tivesse tido aquela mesma pena continuamente em minha mão, e a tivesse movido um pouco somente uma poucas vezes desse ou daquele modo, que alteração eu teria introduzido na maior parte da extensão desta linha?

Sim: Menor do que aquela que seria dada a uma linha reta de umas mil jardas de comprimento que se desviou da retidão absoluta, aqui ou ali, por um olho de pulga.

Sag: Então, se um artista, tivesse começado a desenhar com aquela pena sobre uma folha de papel quando nós deixamos o porto e tivesse continuado a fazê-lo em todo o caminho até Alexandreta, ele teria sido capaz de derivar do movimento da pena uma completa narrativa de muitas figuras, traçada e esboçada em mil direções, com paisagens, construções animais e outras coisas. Ainda que o movimento real, essenci

(43) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., p. 171:

al feito pela ponta da pena tivesse sido uma linha reta; longa, porém, na verdade muito simples. Mas quanto às próprias ações do artista, elas teriam sido conduzidas exatamente como se o navio tivesse permanecido parado. A razão porque, do longo movimento da pena, nenhum traço restou exceto as marcas desenhadas sobre o papel, é que a parte principal do movimento de Veneza a Alexandreta era comum ao papel, a pena, e tudo mais que estava no navio. Porém, os pequenos movimentos para trás e para frente, para a direita e para a esquerda, comunicados pelos dedos do artista à pena mas não ao papel, e pertencendo só à primeira, puderam desse modo deixar, um traço sobre o papel que permaneceu estacionário com respeito àqueles movimentos (44).

Sagredo continua sua argumentação em favor da existência da qualidade não-operativa de alguns movimentos - movimentos estes que seriam portanto insensíveis, imperceptíveis sem qualquer efeito - fazendo uma analogia entre o caso do artista trabalhando em um navio em movimento e a queda de uma pedra do topo de uma torre, afirmando que: estando a Terra movimentando-se, o movimento da queda da pedra seria realmente uma longa extensão de centenas de milhares de jardas; e se a pedra fosse capaz de marcar seu curso no ar imóvel ou sobre alguma outra superfície, ela assinalaria uma longa linha oblíqua.

(44) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., p. 172.

Mas, afirma Sagredo, a porção do movimento que é comum à pedra, à torre e a nós mesmos permanece insensível. Nós conseguiremos observar apenas aquela parte do movimento que nem a torre, nem nós participamos, a saber a porção retilínea do movimento da pedra.

Diante deste descaso dos copernicanos para com o sentido manifesto, os aristotélicos questionam: Se devemos, necessariamente, suspeitar dos nossos próprios sentidos como completamente falíveis e estúpidos no julgamento das coisas sensíveis, então que verdade podemos nós esperar, derivando sua origem de tão falaz faculdade?

A questões deste tipo o porta voz de Galileo responde:

"Salv: Eu gostaria que esse autor não se desse ao incômodo de tentar levar-nos a compreender, apelando para os nossos sentidos, que o movimento de queda dos corpos é simplesmente retilíneo e não de outro tipo; e gostaria que ele não se zangasse, nem se queixasse por tal coisa clara, óbvia e manifesta ter sido colocada em questão. Pois, desta maneira ele sugere que acredita que aqueles que dizem que tal movimento não é retilíneo, mas antes circular, dão a impressão que vêem a pedra mover-se visivelmente em um arco, já que ele apela para os nossos sentidos mais do que a razão para o esclarecimento do efeito. Este não é o caso, Simplício; pois assim como eu nunca vi ou esperei ver a pedra cair

a não ser perpendicularmente, o mesmo eu creio que todos os outros hajam visto. É portanto melhor deixar de lado a aparência, sobre a qual todos concordamos, e usar o poder da razão ou para confirmar sua realidade ou revelar sua falácia" (45).

(45) Galilei, G., Dialogo..., trad. Drake, S., Dialogue..., p.256

O autor a que Salviati se refere é Scípio Chiaramonti, o qual é algumas vezes apontado como um dos estudantes Peripatéticos escolhidos pelo Papa Urbano VIII para examinar o Dialogo... de Galileo.

Segundo Stillman Drake, Chiaramonti embora um convencido anti-copernicano, era um versado astrônomo, e Galileo não podia perdôá-lo tendo deliberadamente torcido seu conhecimento astronômico para preservar seu argumento junto ao público. O autor em questão tinha, previamente, boas relações com Galileo, porém depois, do áspero tratamento recebido no 'Dialogo' ... ele tornou-se mordaz.

Devemos notar que a observação do movimento vertical de uma pedra que cai do topo de uma torre só refutará a concepção copernicana se o conceito de movimento que ocorre no enunciado de observação for o mesmo conceito de movimento que ocorre na predição copernicana, segundo a qual o movimento dos corpos que caem é "a um tempo retilíneo e circular".

Vimos anteriormente, que quando Galileo afirma que o movimento de uma pedra que cai é um movimento oblíquo, composto de um movimento retilíneo e um movimento circular, ele estava entendendo por movimento não o movimento com relação a um marco visível, situado dentro do campo visual do observador, mas antes seu movimento real ou seja seu movimento absoluto, conseqüentemente qualquer enunciado de observação para refutá-lo deverá referir-se ao movimento real.

Como agiu Galileo? Ele substituiu a interpretação natural ⁽⁴⁶⁾ do senso comum - refiro-me ao senso comum italiano do século XVI e XVII - segundo a qual todo movimento é operativo, por uma muito diferente e, até aquela dada, pelo menos parcialmente anti-natural, de acordo com a qual somente o movimento relativo tem caráter operativo.

Este recurso utilizado por Galileo é, a nosso ver

(46) Estamos entendendo interpretações naturais no sentido dado por Feyerabend segundo o qual elas correspondem a operações mentais que tão imediatamente decorrem dos sentidos (ver: Feyerabend, P., Problems of Empiricism, part II, p.304.

inteiramente legítimo, pois como afirma Feyerabend "se uma interpretação natural perturba uma concepção que é atraente e se a eliminação dessa interpretação retira a concepção do domínio do observável, então o único procedimento cabível é o de recorrer a outras interpretações e ver o que acontece. A interpretação que Galileo usa repõe os sentidos na posição de instrumentos de exploração, mas tão-somente com respeito à realidade do movimento relativo. O movimento 'em meio a coisas que o têm em comum é 'não operativo', ou seja, 'é insensível, é imperceptível e sem qualquer efeito'. Portanto, o primeiro passo dado por Galileo, ao examinar, em conjunto, a doutrina copernicana e a interpretação natural comum, mas não explícita do ponto de vista antigo, consiste em substituir esta última por outra interpretação ou, para usar a moderna terminologia, ele introduz uma nova linguagem de observação" (47).

Contudo a substituição da interpretação natural do senso comum pela nova interpretação de Galileo implica no abandono do realismo ingênuo com respeito ao movimento, de acordo com a qual, exceto no caso de ilusões ocasionais e inevitáveis, o movimento aparente é idêntico ao real (absoluto).

Assim "uma concepção inadequada, a teoria de Copérnico, é sustentada por outra concepção inadequada, a idéia

(47) Feyerabend, P.K., Problems of Empiricism, part II pp. 310 - 311

As partes da citação colocadas entre aspas referem-se a textos de Galileo do Dialogo ... (na trad. de Drake, ver p. 171.)

do caráter não-optativo do movimento compartilhado, e, nesse processo, ambas as teorias recebem e dão força mutuamente. É essa alteração (de experiência) que constitui a transição que leva do ponto de vista aristotélico à epistemologia da moderna ciência.

Pois a experiência agora, deixa de ser o fundamento imutável em que se constituía na filosofia aristotélica e no senso comum. A tentativa de sustentar a teoria de Copérnico transforma a experiência em algo *fluido*. (...)

Um empirista que parta da experiência e que constrói sobre ela o seu edifício, sem nunca olhar para trás, terá agora perdido muitas das bases sobre as quais pisava.

É claro que uma filosofia que usa tal experiência fluída e cambiante necessita de novos princípios metodológicos, que não insistam em um assimétrico julgamento das teorias pela experiência" (48).

Além disso, Galileo não apresenta nenhuma experiência independente para sustentar o seu princípio da relatividade e sua concepção do caráter não-operativo dos movimentos compartilhados. No *Dialogo*, Galileo simplesmente usa ambas as idéias para justificar o resultado da experiência de queda de uma pedra do alto de uma torre, no caso da Terra girar em torno do próprio eixo (ou seja ele defende o seu princípio mostrando como ele sustenta a teoria copernicana), e para concluir que o movimento de um corpo lançado do topo

(48) Feyerabend, P.K., *Problems of Empiricism*, part II pp. 318 - 319.

do mastro de um navio em movimento não é alterado pelo movimento deste último.

Portanto o princípio da relatividade de Galileo tem, no *Dialogo*, um caráter *a priori*. (49).

É importante notar também, embora Feyerabend não o faça, que Galileo ao enunciar o seu princípio da relatividade e suas novas idéias sobre os movimentos compartilhados não diferencia entre translação e rotação, por exemplo Galileo parece aplicar seu princípio indistintamente a movimentos uniformes de translação e movimentos uniformes que envolvem a rotação (50). Aliás o princípio da relatividade de Galileo tem um caráter totalmente geral, aplicável aos mais diversos tipos de fenômenos.

Isto pode ser evidenciado na seguinte passagem do *Dialogo* onde Galileo discute o movimento em um sistema mecânico fechado:

"Salv: ... Para uma indicação final da nulidade

(49) Segundo Martins, só na versão final do '*Dialogo*', é que a relatividade de Galileo adquire a natureza de um princípio evidente *a priori*, que não pode ser deduzido de outras leis teóricas ou experimentais (embora seja testável experimentalmente). Isto porque em uma longa carta que Galileo enviou a Francesco Ingoli (em 1624), na qual Galileo apresentava uma descrição da relatividade do movimento bastante semelhante àquela do *Dialogo*, ele "tenta justificar o princípio de relatividade através da inércia... No *Dialogo*, ele altera o final da descrição, e justifica a experiência do navio apenas pelo princípio da relatividade, sem justificar esse último, (Martins, R., Galileo e o princípio da relatividade, p. 31). Esta carta de Galileo a Ingoli é uma resposta a uma carta que este último lhe enviara em 1616 atacando o sistema de Copérnico

dos experimentos apresentados adiante, este parece-me o lugar para mostrar a vós o modo de testar a todos muito facilmente. Fechai-vos com algum amigo na principal cabine abaixo do convés de algum grande navio, e fazei haver convosco algumas moscas, borboletas e outros pequenos animais voadores. Tenhai um grande vaso com água e com alguns peixinhos nele; dependurai uma garrafa que goteje em um vaso aberto embaixo dela. Com o navio ainda parado, observai cuidadosamente como os pequenos animais voam com igual velocidade para todos os lados da cabine. O peixe nada indiferentemente em todas as direções; as gotas caem dentro do vaso colocado em baixo; e, ao atirar alguma coisa para o vosso amigo, não necessitais a tirá-la mais fortemente em uma direção do que em outra, sendo as distâncias iguais; saltando com os pés juntos, atingireis espaços iguais em todas as direções. Quando vós tiverdes observado todas estas coisas cuidadosamente (...) fazei o navio prosseguir com qualquer velocidade que se queira, desde que o movimento seja uniforme e não flutuante deste ou da aquele modo. Vós não descobrireis a mínima mudança em todos os efeitos mencionados, nem podereis dizer a partir de qualquer um deles se o navio está-se movendo ou ainda permanece parado" (51).

(50) Devemos notar que no Principia de Newton apenas os sistemas em movimento retilíneo uniforme são considerados inerciais, e o princípio da relatividade se aplica apenas a estes movimentos.

Ver: Newton, I., Principia

Axiomas ou Leis do movimento, corolário V.

Assim, conclui Salviati, ao saltar passareis sobre o mesmo espaço do assoalho que antes, e não fareis saltos maiores para a popa do que para a proa mesmo que, durante o tempo que estais no ar, o navio esteja movendo-se muito rapidamente, na direção oposta ao vosso salto. Ao atirar o mesmo objeto ao vosso amigo, não necessitareis de mais força para atingi-lo independente da direção em que ele está (se na direção da popa ou da proa). As gotas cairão como antes, sem cair uma só para popa, "embora enquanto as gotas estão no ar o navio corra vários palmos, Os peixes em suas águas nadarão para a dianteira do seu vaso sem nenhum esforço a mais do que para atrás" (52). Finalmente os pequenos animais voadores, voarão indiferentemente em todas as direções, e não se concentrarão no lado da popa como se ficassem cansadas por manter o curso do navio.

Quanto à causa de todas estas correspondências de efeitos, Salviati responde: é o fato de o movimento do navio ser comum a todas as coisas contidas nele, e também ao ar.

"Embora, (como afirma Clavelin) Galileo sustentasse que só sistemas em movimento uniforme poderiam ser inerciais, ele por enquanto não supõe que estes movimentos devam ser também retilíneos; ignorando este fato, o *Dialogo* raciocina acerca de sistemas que, na verdade, não são iner-

(51) Galilei, G., *Dialogo* ... trad. Drake, S., *Dialogue* ... pp. 186 - 187.

(52) Ídem, p. 187.

ciais" (53).

Hoje nós sabemos que no movimento circular uniforme apenas a velocidade angular é constante, enquanto que a velocidade tangencial, embora seja constante em módulo, varia a sua direção, e para que o movimento se mantenha ao longo da trajetória circular há necessidade da ação de uma força acelerativa - força centrípeta -. Portanto o movimento circular é um movimento acelerado e assim detectável no sentido absoluto (54).

Galileo, no entanto, como vimos considera que um sistema em movimento uniforme não altera de modo algum o movimento relativo de suas partes, portanto nenhum experimento mecânico, nenhuma observação, feita dentro daquele sistema será capaz de indicar se o sistema, como um todo, está-se movendo ou está em repouso.

"Mas embora não haja nenhuma desvantagem prática em tratar sistemas em movimento circular uniforme como inerciais (pelo menos se os raios de suas órbitas forem suficientemente grandes), é inteiramente impossível estender esta conclusão para o caso de movimentos rotatórios e afirmar, como Galileo o fez, que nenhum movimento de um corpo para o norte ou para o sul, para leste ou para oeste, ou para cima

(53) Clavelin, M., La philosophie naturelle de Galilée, trad. Pomerans, A.J., The Natural Philosophy ...p. 246

(54) Uma experiência que normalmente se faz hoje nas escolas para detectar o movimento de rotação da Terra é a famosa experiência do pêndulo, onde a rotação é notada pela observação da variação no plano de oscilação do pêndulo.

ou para baixo sobre a superfície de uma Terra girando pode mostrar se o sistema como um todo está ou não em movimento" (55).

Esta imprecisão de Galileo gerou alguns problemas para o seu princípio da relatividade e um deles foi notado por Antonio Rocco, que em 1633, publicou em Veneza o seu *Esercitazioni Filosofiche* onde encontramos um ataque à crítica de Galileo à teoria aristotélica de queda livre.

Segundo Martins, Rocco utiliza algumas evidências experimentais contra a análise de Galileo do experimento do navio, e particularmente contra o princípio da relatividade galileano. O argumento de Rocco é o seguinte:

"... suponhamos que um pássaro está voando, e um atirador aponta sua arma para um pássaro, e move sua arma de tal forma a acompanhar o vôo. Pode-se dizer que o movimento relativo é nulo (principalmente se o pássaro voar em círculo em torno do atirador); mas se ele atirar, sua bala passará por trás do passáro, e não o atingirá, como garantiram a Roc

(55) Clavelin, M., *La philosophie Naturelle*, trad. Pomerans, A.J., *The Natural Philosophy...*, p. 247.

Clavelin observa que esta conclusão de Galileo "não só é falsa mas também está manifestamente em conflito com muitos princípios sobre os quais Galileo baseou sua refutação das objeções tradicionais. De fato, um desenvolvimento sistemático das implicações do princípio de conservação teria rapidamente convencido-o de que o movimento de rotação da Terra devia necessariamente afetar o comportamento observável dos corpos sobre ela. Tomando o caso de uma pedra que cai do topo de uma torre, Galileo, como nós vimos, provou conclusivamente que ela não seria deixada para trás mas como a torre seguiria o mo

co muitos caçadores experientes; para acertá-lo, é preciso atirar à sua frente, o que prova que, mesmo quando o movimento é comum, ele pode ser sensível.

Este último argumento de Rocco é irrespondível, dentro da visão de Galileo. De fato, Rocco está usando um caso de movimento de rotação, e, neste caso, como sabemos, o princípio de relatividade de Galileo não é válido. Ora, a Terra gira; portanto, a rigor, Galileo não consegue fazer o que pretendia: tornar inobservável o movimento da Terra" (56)

É interessante notar, como Martins o fez, que embora Galileo tenha estudado o livro de Rocco, e anotado muitas observações nas margens deste livro, ele nada diz sobre esta crítica de Rocco. Onde Martins conclui que Galileo não possuía uma boa resposta para ela.

Diante destas considerações concluimos que: Galileo para escapar às dificuldades do argumento da torre introduz além do seu princípio da inércia circular e de sua análise dos movimentos de queda dos corpos, o seu princípio da

vimento diurno da Terra. Mas se nós imaginarmos uma torre com uma extensão de um raio terrestre, nós devemos admitir que, uma vez que seu topo está mais afastado do centro da Terra do que sua base e portanto descreve um arco maior, ele deve também ter uma velocidade linear (ou tangencial) maior do que a base. Agora esta maior velocidade imprimirá um maior impeto circular na pedra e, de acordo com o princípio da conservação, este impeto deve ser preservado in toto; a partir disso segue que a pedra, longe de cair atrás, cairá de fato levemente à frente da torre". (Clavelin, M., La philosophie..., trad. Pomerans, A.J., The Natural..., p. 247).

relatividade mecânica e suas novas idéias acerca de movimentos compostos. Porém este princípio, bem como as novas idéias de Galileo sobre movimentos permanentes, são pelo menos parcialmente ad hoc. Além disso o princípio da relatividade galileano e a nova mecânica associada a ele alteraram os elementos conceituais da experiência cotidiana, por exemplo, o sistema conceitual do senso comum, de acordo com o qual o movimento é um processo absoluto que sempre tem efeitos que se manifestam, inclusive sobre os nossos sentidos, - todo movimento é operativo - é substituído por outro que erige em torno da relatividade do movimento e que considera que o movimento é um processo relativo, sendo operativo apenas o movimento compartilhado. Também o conceito de movimento (*Kinesis*) é alterado (de um processo de mudança ele passou a ser considerado um estado), e uma nova linguagem de observação é introduzida por Galileo de tal forma que o movimento aparente deixa de ser idêntico ao movimento real (absoluto).

(56) Martins, R.A., Galileo e o princípio da relatividade, p. 32.

4.4- Considerações finais acerca do argumento da Torre.

Tendo em mãos o princípio da inércia circular, o princípio da relatividade e a análise galileana do movimento de queda dos graves e movimentos compostos, podemos finalmente reconstruir o argumento de Galileo contra a objeção aristotélica à mobilidade da Terra, baseada no experimento da torre.

Este argumento é apresentado por Galileo, no final do segundo dia do *Dialogo...*, na seguinte discussão entre Salviati e Simplicio:

"Salv: Agora imagine você mesmo em um navio com olhos fixos em um ponto da verga do navio. Você acha que porque o navio está-se movendo rapidamente para frente, você teria que mover seus olhos a fim de manter sua visão sempre na aquele ponto da verga do navio e seguir seu movimento?

Simp: Eu estou certo de que não seria necessário fazer qualquer movimento, não só quanto a minha visão, mas se eu tivesse apontado um mosquetão, eu não teria que movê-lo um fio de cabelo para mantê-lo apontado, nem me importar com quanto o navio se moveu.

Salv: E isto acontece porque o movimento que o navio confere à sua verga, ele confere também a você e a seus olhos, tal que você não necessita movê-los um pouquinho a fim de olhar fixamente para o topo da verga do navio, que conseqüentemente parece-lhe imóvel. (E os raios da visão do olho à verga do navio como se uma corda estivesse entre as duas extremidades do navio. Agora uma centena de cordas estão estendidas em diferentes pontos fixos,

cada uma das quais manterá sua posição quer o navio se mova quer mantenha-se imóvel).

Agora transfira esse argumento para o giro da Terra e para a pedra colocada no topo da torre, cujo movimento você não pode discernir porque tal como a pedra, você recebe da Terra aquele movimento que é requerido para acompanhar a torre; você não necessita mover seus olhos. Em seguida, se você adiciona a pedra um movimento para baixo que é próprio dela e não compartilhado por você, e que é misturado com o movimento circular, a porção circular do movimento que é comum à pedra e aos seus olhos continua a ser imperceptível. Só o movimento retilíneo é sensível, para segui-lo você deve mover seus olhos para baixo" (57).

Assim Galileo afasta a objeção da torre, porém outras objeções são apresentadas como por exemplo: a asserção de que a Terra seria muito pesada para ascender acima do Sol e, em seguida cair para a posição abaixo dele. Galileo considera que as objeções deste tipo são "razões totalmente infantis (que) são suficientes para fazer com que os imbecis continuem a acreditar na imobilidade da Terra"... não há necessidade de se preocupar com tais homens cujo nome é legião, ou dar atenção a suas tolices (58).

(57) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., pp. 249 -250.

(58) Galilei, G., Dialogo ..., trad. Drake, S., Dialogue ..., p. 327.

Conclusão

"O fato é que todo escritor cria seus próprios precursores"

Jorge Luis Borges *

Vimos ao longo destes quatro capítulos que a moderna astronomia nasceu a partir da tentativa, feita por Copérnico, de adaptar as idéias dos antigos pitagóricos às necessidades de predições astronômicas e de salvar os fenômenos.

A concepção não-geocêntrica, tanto as de Philolaus, como as de Heraclides de Pontos e Aristarchos de Samos, era considerada, pelos astrônomos ptolomaicos dos séculos XV e XVI, como estranha, antiga e inteiramente ridícula. Todavia esta concepção é revivida por Copérnico embora ela estivesse, como vimos, diante de diversos fatos que pareciam refutá-la. Além disso, Copérnico não dispunha de uma mecânica capaz de sustentar os seus argumentos contra as objeções aristotélico-ptolomaicas ao movimento da Terra, o que tornava a concepção heliocêntrica mais frágil ainda.

Copérnico realizou o progresso retomando uma antiga idéia e criticando a astronomia ptolomaica, então dominante, a partir de um ponto de vista estranho a ela - a saber, a partir dos princípios de simplicidade e harmonia pró -

*Borges, J.L., Kafka and his Precursors, Labyrinths, ed. Dy Donald, A. Yates and James E. Trby, (New York: New Direction, 1964) p. 201

prios da filosofia neo-platônica ou platônico-pitagórica.

Assim concordamos com Paul Feyerabend quando ele afirma que qualquer idéia, embora antiga e absurda, pode aperfeiçoar nosso conhecimento. Um cientista interessado em conseguir o máximo conteúdo empírico, desejando compreender tantos aspectos de sua teoria quanto possíveis, deverá adotar metodologia pluralista comparando as teorias com outras teorias e não com experiência, dados ou fatos e deverá tentar aperfeiçoar concepções que aparentemente não resistem à competição, e não simplesmente afastá-los. Isto porque as alternativas de que ele necessita para manter o processo da competição, como o exemplo da revolução copernicana nos mostra, também podem ser colhidas no passado.

Outro aspecto da ciência copernicana que cofirma a análise feyerabendiana é o fato de que a ciência copernicana não começou a partir de problema, como propõe Popper, não nasceu do conflito entre uma expectativa e uma observação, nem do conflito entre teorias e nossas observações, uma vez que ela não nasceu da observação de novos fatos, nem da falta de explicação de fatos antigos, ela também não é fruto de contradições internas à teoria ptolomaica. E embora se a teoria ptolomaica fosse interpretada realisticamente ela estaria em contradição com a teoria aristotélica das cascas esféricas isto não gera um problema uma vez que ela não se propunha a descrever a real estrutura do Universo, a teoria astronômica ptolomaica de forte teor instrumentalista, se propunha apenas a fazer boas previsões e salvar os fenômenos.

Portanto o nascimento da ciência copernicana não pode ser reconstruído racionalmente a partir do ponto de vis

ta popperiano.

A ciência copernicana também não pode ser descrita dentro dos padrões da estrutura das revoluções científicas Kuhnianas, isto porque, como vimos, a astronomia do século XVI não havia entrado num estado de crise gerado pela fôlha do paradigma astronômico ptolomaico na aplicação de seus próprios problemas tradicionais.

A teoria copernicana nasceu de uma reinterpretação neo-platônica de fatos bastante conhecidos pelos astrônomos do século XV.

A nossa leitura da ciência de Galileo também concorda, como vimos nestes dois últimos capítulos, em muitos aspectos com a leitura feyerabendiana.

Galileo partiu de uma firme convicção, a verdade da doutrina copernicana, a qual era contrária à razão e à experiência da época. Ele buscou, então, novos tipos de fatos suscetíveis de dar apoio a Copérnico, construindo novos tipos de instrumentos (telescópio), relacionando a 'evidência' com as teorias segundo novas linhas e finalmente com o estabelecimento de suas novas idéias com respeito ao movimento, e de seus princípios da relatividade e da inércia circular.

Porém, tanto os fenômenos telescópicos, como as novas idéias de movimentos de Galileo eram inaceitáveis, como vimos, ao ver do senso comum (dos aristotélicos).

Galileo, como discutimos longamente, não dispunha de uma teoria óptica que justificasse o uso do telescópio e que assegurasse a fidedignidade das observações telescópicas do Céu.

Contra a nossa leitura da ciência de Galileo se poderia apresentar críticas semelhantes às aquelas que Machamer apresenta a Feyerabend, se poderia objetar que só examinamos o que temos por pontos falhos em Galileo ignorando os muitos e excelentes argumentos que Galileo ofereceu para demonstrar o movimento da Terra.

De acordo com Machamer, Galileo tinha muitas razões físicas para sustentar que a teoria copernicana era verdadeira: sua aceitação desta teoria foi, ao ver de Machamer, inteiramente racional. Entre as razões apontadas por nosso opositor encontramos a teoria de Galileo das marés desenvolvidas, pela primeira vez, por volta de 1616.

Para responder estas críticas faremos nossas as palavras de Feyerabend ao responder as críticas de Machamer

"Tendo em vista meus propósitos, foi lícito agir como eu agi. Com efeito, para mostrar que a generalização to dos os corvos são negros é sustentada com questionável fundamento, basta apresentar um corvo branco e revelar as tentativas feitas no sentido de escondê-lo, de transformá-lo em um corvo preto ou de levar as pessoas a acreditarem que ele é, na verdade, preto; e é perfeitamente razoável ignorar os muitos corvos pretos que indubitavelmente existem. Para mostrar que o enunciado "a Terra se move" é sustentado por fundamentos discutíveis, basta apresentar um único obstáculo a essa concepção e indicar as tentativas feitas no sentido de ocultá-lo ou de transformá-lo em evidência favorável à afirmação; pode-se novamente, com toda naturalidade, ignorar os pontos em prol da hipótese que, diga-se de passagem, são muito mais frágeis e ambíguos no caso de Galileo do que no caso

dos corvos: as fases de Vênus, mencionadas por Machamer, não tornam o movimento da Terra mais plausível, como ele próprio o reconhece..., e Galileo as encara erradamente, acrescentando provas desfavoráveis a seu ponto de vista. A teoria das marés, a que Machamer dá posição proeminente, como argumento em favor do movimento da Terra, só passa a desempenhar essa função se esquecermos as dificuldades que faz surgir (...) e exatamente assim procede Galileo, que deixa de considerar as provas contra o movimento da Terra" (01).

Assim, tendo em vista o meu objetivo, que era o de verificar se de fato Galileo violou importantes regras metodológicas como afirmou Feyerabend, eu poderia, assim como o fez Feyerabend, omitir, sem prejuízo, os argumentos oferecidos por Galileo em favor do movimento da Terra.

(01) Feyerabend, P.K., Against Method, Contra o Método, p. 178.