GENESIS:

ASSIM CRIOU DEUS O UNIVERSO

GENESIS:

ASSIM CRIOU DEUS O UNIVERSO

EUCLYDES MARQUES

Todos os direitos reservados

ISBN 978-65-00-50262-6

Ficha catalográfica

Marques, Euclydes - Gênesis : assim criou Deus o Universo / Euclydes Marques. - 1. ed. -- São Paulo : Ed. do Autor, 2022. ISBN 978-65-00-50262-6 1. Criação - Ensino bíblico 2. Devoção a Deus 3. Evolução (Biologia) - Aspectos religiosos - Cristianismo 4. Origem da vida 5. Universo - Origem I. Título.

22-121922 CDD-261.55

Índices para catálogo sistemático: 1. Universo : Criação : Ciência e fé : Cristianismo 261.55

Dedicatória

Dedico este trabalho

à minha esposa Maria Nilda e à minha filha Carmen Sílvia, cuja ausência material nunca foi obstáculo para o amparo incessante e indispensável que me deram, tanto na execução desta obra quanto em todas as tarefas que tenho realizado neste final de jornada.

aos meus filhos Marco Valério e Otávio Augusto, e às minhas noras Rosely e Jussara, pontos de apoio decisivo em todos os momentos, e incentivo para manter-me em atividade.

Agradecimento

Agradeço ao meu dileto amigo Dr. Márcio Peres Ribeiro pelo seu cuidadoso trabalho de revisão e correção do texto.

Euclydes Marques

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. O INFINITAMENTE GRANDE (I): O UNIVERSO

1-1.O despertar, 1
1-2. Astronomia na Mesopotâmia, 5
1-3.Astronomia dos egípcios, 7
1-4. Astronomia na antiga Grécia, 7
1-5. Precursores do heliocentrismo, 16
1-6. Firma-se a teoria geocêntrica, 17
1-7. A estagnação da ciência ocidental, 19
1-8. O sistema heliocêntrico, 20
1-9. As leis de Kepler, 25
1-10. As leis de Newton, 26
1-11. Geocentrismo x heliocentrismo: luta inglória? 28
1-12. Medidas do Universo, 29
1-13. A descoberta do Universo, 31
1-14. Expandindo os limites do Universo, 30
1-15. O catálogo de Charles Messier, 37
1-16. Henrietta Leavitt descobre uma régua estelar – as cefeídas, 38
1-17. Harlow Shapley constrói um modelo da Galáxia, 40
1-18. Um condutor de mulas vislumbra os portais do Universo, 40
1-19. Herbet Doust Curtis propõe uma ideia arrojada, 41
1-20. O grande debate: O que são as nebulosas espirais? 42
1-21. Outra vez o condutor de mulas ante os portais do Universo, 43
1-22. A maravilhosa família das estrelas, 44
1-23. Escutando o céu: os radiotelescópios, 50
1-24. O Universo descortina-se aos olhos da tecnologia: um observador extraterrestre, 51
1-25. A anatomia do Universo conhecido. Números que estarreceriam os geocentristas, 51
1-26. A computação gráfica aplicada à cosmologia: simulações Millenium e Bolshoi, 54
1-27. Matéria escura, 57
11-28. O Universo em expansão, 58

CAPÍTULO 2. O INFINITAMENTE PEQUENO: O ÁTOMO E AS PARTÍCULAS SUBATÔMICAS.

2-1. Outra vez os gregos, 67
2-2. Os alquimistas, 68
2-3. O flogisto, 71
2-4. Descobertas fundamentais, 71
2-5. Um cientista francês desvenda o mistério da combustão, 73
2-6. Outra disputa histórica resulta em lei fundamental da química, 74
2-7. A teoria atômica de Dalton, 75
2-8. Batizando e classificando os elementos químicos. Equações químicas, 79
2-9. O sonho de Mendeleev, 81
2-10. O que tem que ver a eletricidade com os átomos? 83
2-11. Existem dois tipos de eletricidade – ou apenas um? 85
2-12. Eletrização através do atrito: máquinas eletrostáticas, 86
2-13. Armazenando cargas elétricas, 87

2-14. Eletrostática e eletrodinâmica, 88
2-15. O poder da eletricidade se exerce à distância: a indução elétrica, 88
2-16. Patas de rã geram polêmica entre cientistas, 90
2-17. Dissociando moléculas com o auxílio da eletricidade, 91
2-18. Afinal, começamos a compreender como os átomos se mantêm unidos nas moléculas, 92
2-19. Unindo a eletricidade ao magnetismo, 94
2-20. A corrente elétrica: detecção e medição, 95
2-21. Trabalhos de Faraday, 95
2-22. Lei de Ohm. Altas tensões, 99
2-23. Segredos atômicos desvendados em tubos vazios, 100
2-24. Raios catódicos: ondas ou partículas? 102
2-25. Finalmente, entra em cena a primeira partícula subatômica: o elétron, 103
2-26. Mais um segredo atômico desvendado: o próton, 105
2-27. O modelo atômico de Thomson, 106
2-28. Millikan coloca os elétrons na balança, 108
2.29. Nesta altura, temos de conhecer algo sobre ondas, 109
2-30. O espectro das ondas eletromagnéticas. A primeira radiografia da história, 112
2-31. Emissão espontânea de energia de energia e de partículas pelos átomos: a radioatividade, 113
2-32. Há vários tipos de emissões radioativas, 114
2-33. Escocês fabrica nuvens no laboratório e acelera o estudo do átomo, 116
2-34. No rastro das emissões radioativas, 117
2-35. Desmantelamento espontâneo dos átomos: a alquimia da natureza, 118
2-36. As partículas alfa eram a grande paixão de Rutherford, 120
2-37. Rutherford bombardeia o átomo, 121
2-38. O modelo atômico de Rutherford, 123
2-39. Transmutação artificial. Rutherford concretiza o sonho dos alquimistas e descobre o próton, 124
2-40. A Teoria Quântica vem em socorro de Rutherford: o átomo de Bohr, 126
2-41. A emissão espectral identifica os elementos, 128
2-42. Estabilidade nuclear, 131
2-43. O mistério do decaimento beta e a descoberta de uma terceira partícula, 132
2-44. O sinal de uma equação leva Dirac a uma quarta partícula, 132
2-45. Uma nova radiação intriga os físicos, 133
2-46. O bilhar dos átomos: descoberta uma terceira partícula, o nêutron,134
2-47. Soddy e Aston descobrem os isótopos - a tabela de Mendeleev revisitada, 136
2-48. Explicando a combinação dos elementos: valência, 137
2-49. Radiação que vem do espaço: os raios cósmicos, 141
2-50. Empregos da energia atômica, 141
2-51. As máquinas esmagadoras de átomos abrem uma janela para o invisível, 145
2-52. Outras partículas subatômicas, 149
2-53. Classificação das partículas subatômicas. O modelo padrão, 150

2-54. Retrospectiva e atualizações, 150

CAPÍTULO 3. O INFINITAMENTE GRANDE (II): COSMOGÊNESE

3-1. O Universo dos antigos, 159
3-2. A Ciência entra em cena, 160
3-3. O afastamento das galáxias: a expansão do Universo, 162
3-4. A radiação de fundo de micro-ondas, 163
3-5. O Big Bang, 166
3-6. A gênese das galáxias, 171
3-7. As primeiras estrelas, 173
3-8. A ressonância do carbono, 175
3-9. A síntese do oxigênio, 181
3-10. Novas gerações de estrelas. Planetas, 182
3-11. Formação do sistema solar, 182
3-12. A Terra, 183
3-13. Éons e Eras geológicas, 184
3-14. Evolução da crosta terrestre, 194
3-15. Formação da atmosfera terrestre, 196
3-16. Glaciações, 196
3-17. O calendário cósmico, 197

CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REALIDADE

4-1. O que é a realidade? 207
4-2. O espaço e seus referenciais, 212
4-3. A anatomia do espaço. Dimensões, 213
4-4. A teoria da Relatividade, 221
4-5. Os sistemas de referência, 223
4-6. A eletrodinâmica dos condutores em movimento, 228
4-7. A determinação da velocidade da luz, 230
4-8. O éter e a natureza a luz, 235
4-9. O éter como sistema referencial absoluto, 239
4-10. A relatividade de Poincaré-Lorentz, 243
4-11. A relatividade de Einstein, 246
4-12. Comparação entre as relatividades de Poincaré-Lorentz e de Einstein, 249
4-13. A Relatividade generalizada, 250
4-14. Relatividade e realidade, 252
4-15. A Mecânica Quântica, 252
4-16. Conceitos fundamentais da MQ, 260
4-17. Tratamento matemático dos fenômenos quânticos, 262
4-18. Considerações de ordem conceitual, 262
4-19. Equação de Schrödinger, 263
4-20. O princípio da incerteza, 265
4-21. O problema da medição, 267
4-22. As interpretações da MQ, 269
4-23. O gato de Schrödinger, 270
4-24. O argumento EPR, 272
4-25. O teorema de Bell, 275
4-26. Trabalhos de Clauser e Aspect, 278
4-27. A experiência de Wheeler (Escolha retardada), 278
4-28. Conclusões mais importantes da MQ, 279
4-29. O átomo revisitado, 280

4-30. As forças da natureza, 281
4-31 Mediadores, 283
4-32. A estrutura quântica do átomo, 284
4-33. Orbitais, 284
4-34. Momento angular e momento magnético, 285
4-35. Cargas elétricas situadas em campos magnéticos, 286
4-36. Novo desafio proposto pela espectroscopia: o efeito Zeeman, 287
4-37. O experimento de Stern-Gerlack, 288
4-38. O spin, 289
4-39. Números quânticos, 290
4-40. O modelo padrão, 291
4-41. Coisismo, 293
4-42. Aspectos filosóficos da MQ, 294
4-43. Os limites da lógica, 295

CAPÍTULO 5. O INFINITAMENTE COMPLEXO (I): A VIDA

5-1. Os seres vivos - O que é a vida? 315
5-2. Vitalismo e mecanicismo, 316
5-3. Da química inorgânica à química orgânica, 321
5-4. A constituição química dos seres vivos, 322
5-5. A água: uma verdadeira dádiva do Criador, 325
5-6. Glicídios, 327
5-7. Ésteres, 328
5-8. Lipídios, 328
5-9. Proteínas, 330
5-10. Ácidos nucleicos, 332
5-11. Duplicação do DNA, 335
5-12. Enzimas e coenzimas, 336
5-13. Por que fosfatos? 336
5-14. A célula, 338
5-15. A teoria celular, 340
5.16. Os seres vivos classificados segundo a estrutura de suas células, 341
5-17. Morfologia celular: citoplasma, núcleo e membrana, 342
5-18. Metabolismo celular. Como a célula lida com a energia, 350
5-19. Reprodução celular. A linguagem de Deus, 360
5-20. Mendel e os genes, 361
5-21. Mecânica da reprodução as células somáticas. Mitose, 365
5-22. As células germinativas seguem outro processo de divisão. Meiose, 367
5-23. A hipótese cromossômica da herança, 369
5-24. Uma bióloga descobre os cromossomas sexuais, 371
5-25. No encalço do DNA, 371
5-26. Trabalho dos biólogos, 372
5-27. A sede do material genético, 373
5-28. Um médico inglês abre caminho na direção do DNA, 374
5-29. Trabalhos de Avery, Levene e Chargaff, 375
5-30. O DNA é o responsável pela hereditariedade, 376
5-31. Astbury e Bell e a estrutura dos polipeptídios, 378
5-32. Rosalind Franklin revela a estrutura do DNA, 379
5-33. Como as células sintetizam substâncias, 382
5-34. O DNA possui a fórmula para a síntese de proteínas, 382

5-35. O código genético, 383
5-36. Visão global da célula, 385
5-37. Tecidos, 385
5-38. Órgãos e sistemas, 387
5-39. Líquido extracelular, 399
5-40. Embriogênese. Campos morfogenéticos, 399

CAPÍTULO 6. O INFINITAMENTE COMPLEXO (II): A ORÍGEM DA VIDA

6-1. Geração espontânea: uma crença antiga, 413
6-2. Abiogênese em nível microscópico, 414
6-3. Controvérsias estatísticas, 417
6-4. A ciência volta a se ocupar com o problema da origem da vida, 419
6-5. Resgatando a abiogênese: a hipótese de Oparin e Haldane, 420
6-6. A experiência de Urey e Miller, 422
6-7. Coacervatos, 424
6-8. O mundo do RNA, 424
6-9. Teoria de Szostak, 425
6-10. O porquê da autoestruturação molecular: Servização, 429
6-11. A vida iniciou-se com estruturas mais simples que as atuais, 432
6-12. O transporte de informação no mundo primordial, 433
6-13. A evolução química foi um processo planejado, 434
6-14. O desígnio da criação, 438

CAPÍTULO 7. O INFINITAMENTE COMPLEXO (III): A EVOLUÇÃO DOS SERES VIVOS

7-1. Criacionismo e Evolucionismo, 445
7-2. Ortogênese, 450
7-3. Resgatando Lamarck: epigênese, 450
7-4. Microevolução e macroevolução, 451
7-4. Genética e Biologia Molecular vêm completar o darwinismo, 452
7-6. Síntese evolutiva moderna, 452
7-7. Cientismo, 453
7-8. Evidências da evolução, 454
7-9. Evidências na morfologia dos animais atuais, 455
7-10. Evidências embriológicas, 457
7-11. Evidências paleontológicas, 459
7-12. Os degraus da evolução e as transições, 461
7-13. Os primatas, 472
7-14. Evolução do Sistema Nervoso, 478
7-15. Primórdios da organização do SN, 478
7-16. Encefalização, 484
7-17 Evolução dos circuitos neurais, 484
7-18. Hierarquia dos centros nervosos, 489
7-19. Evolução morfofisiológica do SN. 490
7-20. Plano geral da constituição do SN nos animais superiores, 493
7-21. Aspectos fisiológicos do SN, 502
7-22. Sensibilidade somática, 503
7-23. Sensibilidade visceral, 510
7-24. Motricidade somática, 511

7-25. Motricidade visceral, 520
7-26. Atividade nervosa superior: o cérebro e a mente, 521
7-27. Seria a evolução teleológica? 526
7-28. O inteligente design, 529
7-29. A evolução teísta de Collins. Biologos, 531
7-30. O fim da evolução, 532
7-31. Conclusão, 534

CAPÍTULO 8. A VIDA NO UNIVERSO

8-1. Vida extraterrestre, 547
8-2. A possibilidade de vida extraterrestre, 548
8-3. A equação de Drake, 549
8-4. O paradoxo de Fermi, 550
8-5. Na escuta de sinais, 551
8-6. Emitindo sinais, 553
8-7. Presença de alienígenas entre nós, 554
8-8. Exploração espacial, 556

CAPÍTULO 9. A INTELIGÊNCIA IMATERIAL

9-1. Entidades imateriais, 559
9-2. Curas espirituais, 560
9-3. Efeitos físicos: voz direta e levitação, 562
9-4. Psicografia, 564
9-5. Estudo da circulação do córtex cerebral durante a psicografia, 566
9-6. Transcomunicação instrumental, 568

CAPÍTULO 10. O INFINITAMENTE PERFEITO: DEUS

10-1. A procura, 573
10-2. A essência de Deus, 573
10-3. A ideia de Deus, da humanidade primitiva à modernidade, 575
10-4. Provando a existência de Deus, 579
10-5. Deus e a Ciência, 582
10-6. O princípio antrópico. O ajuste fino do Universo, 585

EPÍLOGO, 593

INTRODUÇÃO

De onde viemos? O que estamos fazendo aqui? Por que existe um Universo ao invés de nada? Existe alguma razão para esse Universo? Ele foi criado ou sempre existiu?

Não sabemos exatamente em que época da história essas perguntas principiaram a tomar forma nas cogitações dos homens. É bem provável que perguntas mais ingênuas tenham ocorrido antes aos seres pensantes, tão logo tenham descido das árvores, assim como aquelas referentes aos fenômenos que aconteciam à sua volta: - Por que chove? O que é o trovão? O que é o fogo? O que é a morte?

É certo que, antes do aparecimento de mentes melhor dotadas, as criaturas mais simplórias inventavam mitos para explicar o que lhes parecia ser a *realidade*. Naquele ingênuo pensar, é bem provável que tais mitos não procurassem explicar a constituição física ou a natureza íntima da realidade, mas tão somente como essa realidade afetava as atividades, os interesses e os relacionamentos humanos. Tendo a própria figura como parâmetro para avaliar e tentar entender a natureza, os homens personificavam as forças que não podiam compreender de outra maneira. A Terra era a mãe, o Sol o pai, o mar um tio misterioso, as montanhas parentas afastadas. Sempre sob um pensamento antropocêntrico, criavam personagens com características semelhantes às humanas, mas em geral dotados de poderes supranormais. O trovão, para os nórdicos, era produzido pelos golpes do martelo do deus Thor; para nossos índios era a manifestação de Tupã, o deus supremo tupi. As tempestades ocorriam em momentos de luta de terríveis entes mitológicos e os raios eram armas dos deuses para abater seus inimigos. Diz uma lenda indígena que o sol brilhava constantemente até ser destruído pelo toque de um mortal descuidado. Então, Tupã recriara o sol, mas como este tardasse a aparecer, criara a Lua e as estrelas para iluminar a noite. Como entre nossos índios, temos incontáveis mitos entre os mais diferentes povos primiti-

vos, africanos, nórdicos, gregos, chineses, japoneses e indús, para explicar a existência do homem e da realidade circundante.

Quando a inteligência humana alcançou um grau mais avançado de maturidade em alguns indivíduos, surgiram os filósofos, que tentavam a explicar a realidade em termos menos fantasiosos, cada vez mais apoiados na observação e no raciocínio - e mais tarde na experimentação. Agora, além de se preocupar com explicação racional dos fenômenos naturais do dia a dia descendo, além do utilitarismo, até sua essência mais íntima, os filósofos voltaram também a sua atenção para perguntas tais como as formuladas no início desta introdução.

No Ocidente, podemos considerar que o pensamento filosófico iniciou-se com os gregos. O misticismo que encontrava profundas raízes na mitologia grega não deixou de influenciar Sócrates e Platão. Até em Aristóteles vamos encontrar concepções sobre o homem e sobre o Universo baseadas tão somente em suas persistentes elucubrações eivadas de religiosidade. Todavia é impossível contestar que o materialismo de Epicuro se originava tão somente em sua fé. No entanto, cada vez mais e mais o raciocínio e a lógica foram dominando o pensar das melhores inteligências e no Renascimento já podemos contar com a desobediência de Galileu e a pregação científica de Bacon. Contudo, as mais brilhantes inteligências desse período, como Newton, Kant e Spinoza, nunca hesitaram em admitir a coexistência do espírito científico com um elevado grau de religiosidade.

Com o advento do pensamento científico moderno, uma a uma das explicações místicas da natureza foram sendo desmontadas, deixando os religiosos cada vez mais encurralados sob a proteção exclusiva de seus postulados injustificáveis ou *mistérios da fé.* Entretanto, o ateísmo de Diderot, Nietzsche, Hume, Schopenhauer e Sartre em nada diferiu de uma profissão de fé, bem mais radical que a posição agnóstica de Russell. E assim, o misticismo cego aplicado na explicação do homem e do Universo continuou a competir com o avanço inexorável das descobertas científicas. E esse pensamento exclusivamente místico e cego, que condenou Galileu à retratação e Giordano Bruno à fogueira, persiste até os dias de hoje, quando vemos debater-se em aguerrida porfia os ateus, comandados por Richard Dawkins, contra os criacionistas que insistem na interpretação da Bíblia ao pé da letra ao lado dos defensores do "intelligent design" de William Dembski, Michael Behe e Stephen Meyer, a mais recente novidade deísta que os ateus e agnósticos classificam como *pseudociência* ou *criacionismo sofisticado.* Outra corrente de pensamento é a Evolução Teísta, que admite que a evolução das espécies não seja incompatível com a crença na existência de Deus.

Nesta despretensiosa narrativa, pretendemos defender o princípio de que existe uma Inteligência Superior e Inescrutável por trás de toda a Criação, e para tanto empregaremos os mesmos argumentos dos que a negam. De fato, mostraremos que os mais altos pontos da argumentação ateia, como a teoria de que *"Universo nasceu do nada por uma flutuação da espuma quântica"*, a vida é um *"produto da combinação aleatória de substâncias inertes"* e o homem é a *"última etapa da evolução darwiniana"* parecem, realmente, aproximar-se muito da verdade. Contudo, essas afirmações, com as devidas correções, configuram, simplesmente, *a maneira pela qual Deus criou o Universo.* Não acreditamos na eventual intervenção divina em momentos específicos da evolução ou da história. Tal ideia a nós nos parece sobremaneira ingênua e antropomórfica, alvo fácil das críticas ateias sobre o "Deus das lacunas".

O aspecto histórico desta obra é mais predominante nas primeiras seções, por isso que, como um relato de feitos científicos, conta com um número menor de eventos e seus autores em épocas mais remotas. Na medida em que avançamos para a modernidade, esses se multiplicam e o tratamento de todos exigiria dezenas de textos como este. Por isso, ao abordar temas da atualidade ou mesmo próximos dela, limitar-nos-emos aos mais relevantes ou mais pertinentes ao escopo desta obra.

Convidamos o estimado leitor a empreender conosco uma jornada através do Universo, buscando entender a sua estrutura íntima, desde as distâncias incomensuráveis do espaço até os confins inimagináveis do átomo, desde a harmonia da fisiologia dos órgãos e sistemas dos organismos até a intimidade da bioquímica celular, desde a origem da matéria viva até a maravilha da informação genética, e a debater os problemas mais profundos da ciência e da filosofia, a ver como se manifesta e se afirma de maneira clara, consistente e inconsútil a presença inegável da inteligência divina.

Nota (1): Este texto é dividido em dez capítulos, cada capítulo em seções. Os capítulos são enumerados em algarismos arábicos; cada sessão é enumerada com dois algarismos, o primeiro referente ao capítulo a que ela pertence, o segundo a ela própria; o mesmo para as figuras; as referências a sessões, figuras ou fontes bibliográficas virão entre colchetes [ ]; as equações e outras referências virão entre parêntesis (). Grande parte das ilustrações é de nossa autoria, mas valemo-nos *larga manu* de recursos obtidos na internet, respeitando rigorosamente os direitos autorais concernentes às imagens reproduzidas.

Nota (2): Aos leitores pouco chegados à matemática – Não se preocupem se notarem algumas passagens que incluam equações matemáticas. São elementos de muita simplicidade e mesmo se forem

omitidos a compreensão dos temas pouco será afetada. Além disso, as passagens matemáticas mais extensas, embora elementares, serão tratadas nos apêndices reservados aos leitores interessados, podendo também ser omitidas sem prejuízo maior para o entendimento global da obra.

CAPÍTULO 1

O INFINITAMENTE GRANDE: O UNIVERSO

1-1. O DESPERTAR



Confins da selva. A noite em meio. O vento
gelava. A fera ergueu-se. O sepulcral
silêncio obstou - grunhiu - mas, afinal,
quedou-se o bruto imóvel, mudo, atento,

pois brotou, como um sol, nesse momento,
no cérebro primário do animal,
a potencialidade original
do mais arrebatado sentimento.

Mas seu rudimentar ego fallhou
em decifrar o arcano que o empolgava...
Então... Ergueu de leve o olhar do chão,

e num urro bestial sintetizou
a tristeza infinita que abrigava
no fundo do selvagem coração!

Certamente, houve uma primeira vez. Em uma data extremamente remota, nos confins de alguma longínqua e inóspita paragem, pela primeira vez na história da Terra, um primitivo ser, talvez humano, talvez pré-humano, levantou o olhar e contemplou as estrelas. É bem capaz que outros já o houvessem feito. Contudo, desta feita, empolgou-o – pela primeira vez – um sentimento singular decorrente daquela visão: espanto, deleite, medo, curiosidade... quem saberia?

O certo é que quando os homens, já de posse de um mínimo pensamento racional, começaram a perscrutar o céu estrelado, aqueles sentimentos brotaram, avassaladoramente, em sua mente. O que seriam aqueles pontinhos luminosos cravados sobre o veludo negro da noite? E os outros astros – o Sol, a Lua e os inesperados cometas?

Aqueles homens pré-históricos certamente tinham noção de uma considerável diferença entre o céu e a terra: esta última, eles podiam conquistar. Graças à sua pertinácia e à sua força física, eles revolviam a terra dura para cultivá-la, derrubavam as árvores gigantes a fim de construir abrigos, abatiam grandes animais para saciar a fome, arrostavam a

fúria das tempestades em suas toscas embarcações explorando o desconhecido, galgavam elevados píncaros a ver o que existia mais além. Já o céu apresentava-se como algo distante e inatingível, e por isso mágico, sagrado, divino e misterioso. Ele só poderia ser conquistado pela inteligência. E, bem mais tarde, pela astronáutica. Contudo, algo que só iria ocorrer depois de muito, muito tempo, era totalmente inconcebível por aqueles nossos longínquos ancestrais... A ideia mais primitiva do que fosse o céu talvez tenha se formado em função do aspecto ao ser contemplado em uma noite estrelada: uma grande cúpula, pontilhada de estrelas, estendendo-se sobre nós, limitada pelo horizonte [Fig. 1-1].

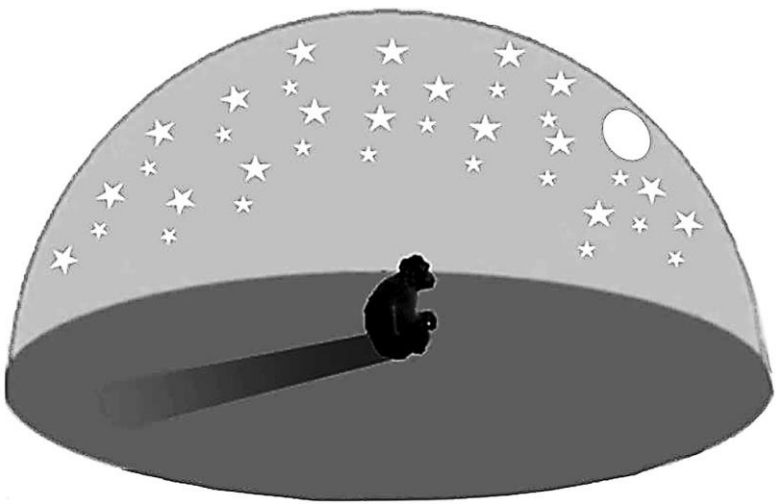

Fig. 1-1. A imagem mais primitiva dos céus: uma grande cúpula.

Essa visão nada mais é senão uma imagem mental, formada no cérebro, em função das informações enviadas pelos olhos. Ainda hoje falamos em "cúpula celeste" embora, na realidade, não exista cúpula nenhuma. Essa ideia persistiu por muitos séculos, sendo um bom exemplo dos conceitos que o "senso comum" parece sugerir ante uma observação menos crítica do mundo à nossa volta. O "senso comum" é uma apreciação empírica, um juízo que nos permitimos fazer de alguma suposta realidade, baseando-nos na experiência da vida cotidiana, com influência ou não de nossas tradições culturais. Nem sempre o sugerido pelo "senso comum" corresponde à realidade: durante muitos séculos o "senso comum" parecia indicar que para manter um corpo em movimento seria

necessária uma força constante – e isso não corresponde à verdade. Para comprovar algo que nos sugere o "senso comum" é necessária uma análise, uma crítica mais detida – e aí nasce a ciência. Para as pessoas mais simples, tudo a contrariar o "senso comum" é uma aberração, uma inverdade às vezes chocante, difícil de ser aceita. No curso da longa viagem que iremos fazer até os confins do Universo, entraremos em com muitas afirmações que esbarram ou mesmo confrontam com o "senso comum". A noção que atualmente temos de um espaço prolongando-se além de todas as distâncias é uma abstração só elaborada recentemente. Isso não ocorreu à custa de nenhuma imagem construída diretamente por estímulos sensoriais, mas sim pelo exercício de complexo raciocínio desenvolvido a partir de informações obtidas ao longo das idades, do alvorecer da civilização até o tempo presente. O "senso comum" jamais poderia tê-la concebido.

Admite-se que no período Paleolítico superior (idade da Pedra Lascada que vai desde 40.000 a 10.000 anos a.C.) deu-se o inicio do conhecimento astronômico da humanidade: ossos talhados nessa época com marcas de 28 ou 29 pontos provavelmente representam os dias dos ciclos lunares.

Conforme foram amadurecendo as civilizações, ocorreu a domesticação de animais e o cultivo de vegetais comestíveis. Há evidência dessas práticas no período neolítico, a saber, em um passado datado de 6.000 anos a.C. Nessa ocasião, os homens começaram dar-se conta que a compreensão do funcionamento do mundo era importante para sua sobrevivência. Evidentemente, as condições climáticas de calor ou frio, chuva ou sol, neve e vendavais mostravam-se de grande importância para a agricultura, a pecuária, as caçadas, as viagens, as navegações e outros afazeres da vida civilizada. Com o interesse voltado para tais condições, os homens perceberam o seu suceder com regular periodicidade. Assim, formaram o conceito de estações, e finalmente acabaram por constatar que elas se relacionavam com os fenômenos celestes, e a observação destes últimos propiciava-lhes a capacidade de predizê-las. Dessa forma, além da sensação mágica que o céu lhes despertava, um sentimento utilitarista talvez tenha sido de primordial importância para o interesse pelos fenômenos celestes. Vale a pena ressaltar, nessa época os observadores não podiam contar com o telescópio e tiveram de lançar mão de recursos rudimentares para auxiliá-los no estudo desses acontecimentos, como veremos a seguir.

Talvez um dos primeiros fenômenos a chamar o interesse desses antigos foram os pontos do nascente e ponte do sol, que variam no

transcorrer do ano. Para assinalar esses pontos, os observadores erigiram alinhamentos de estacas ou pedras. Um exemplo dessas construções são os alinhamentos de Le Menec e Carnac, na França, onde 2.934 e 1.099 blocos de pedras dispõem-se por extensões de 1 e 4 quilômetros respectivamente. Essas construções, datando de 6.700 anos a.C., apontam para o nascente exatamente nas datas do inicio das semeaduras (6 de maio e 8 de agosto).

Outro exemplo fascinante é o aglomerado megalítico de Stonehenge, construido entre 3.700 a 2.100 a.C., na Inglaterra, com blocos de até 26 toneladas [Fig. 1-2]. Nesse complexo, algumas pedras estão alinhadas com o nascente no início do verão e do inverno. Outras medidas astronômicas ali demarcadas permitem mesmo a previsão de eclipses da Lua. A reprodução de constelações, como Ursa Maior, Ursa Menor e Plêiades mediante furos em pedras datam dessa época.

Para aqueles homens primitivos, a explicação de fenômenos naturais sempre esteve vinculada à participação de deuses e entidades mitológicas, e certamente o interesse pelo céu evoluiu juntamente com o misticismo. Lá no céu, deveriam habitar as divindades e outras criaturas quiméricas, muitas vezes identificadas como os próprios corpos celestes. Por isso, admite-se tenham sido os sacerdotes os primeiros astrônomos. Admite-se ainda, que as construções megalíticas, além de servirem como referência de fenômenos celestes, também fossem palco de celebrações religiosas. Nesses primórdios da Astronomia, uma atividade eminentemente científica, mesclava-se com a Astrologia, uma superstição na qual se pretendia estabelecer a influência dos astros nos acontecimentos sociais ou pessoais. Essa superstição persiste até os dias de hoje.

.



Fig. 1-2. Stonehenge.

1-2. ASTRONOMIA NA MESOPOTAMIA

Por volta de 4.000 a.C. conglomerados humanos provenientes da Ásia Central estabeleceram-se na Mesopotâmia, constituindo a civilização sumeriana, considerada como a mais antiga da Terra. Além da Suméria, dois outros reinos se desenvolveram nessa região, a saber, a Assíria e a Babilônia.

Os sumerianos eram excelentes astrônomos e, por volta de 3.000 a.C., classificaram grupamentos de estrelas, ou *constelações*, dispostas pelo caminho no qual se desloca o sol ao longo do ano, denominando-as com nomes de animais que persistem até hoje. O conjunto dessas constelações foi chamado de Ul-He. Mais tarde os gregos o denominaram Zodíaco [Fig. 1-3].



Fig. 1-3 - O Zodíaco: Capricornus, Aquarius, Pisces, Aries, Taurus, 3Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpius, Sagitarius são as constelações dispostas no trajeto do sol.

Como a Astronomia andava de mãos dadas com a Astrologia, cada constelação correspondia a um signo de mesmo nome. Esses signos determinariam a personalidade e o destino das pessoas nascidas no momento da passagem do Sol pela respectiva constelação. Essa crendice persiste até os dias atuais e as pessoas interessam-se pelo seu horóscopo, ou seja: pelo destino que o seu signo lhes reserva.

Um pano de fundo mágico e uma grande dose de fantasia associavam-se às observações objetivas do mundo, para explicar os fenômenos que os homens tentavam compreender, baseados no "senso comum". Desse modo, os conceitos sumerianos, que nos arriscamos chamar de cosmológicos, eram eivados de temas e suposições que hoje nos parecem ingênuas e impossíveis. Eram os mitos. Assim como outros povos antigos, como veremos adiante com os gregos, as pessoas criavam histórias e seres fantásticos para explicar os acontecimentos e as forças naturais. Astros e fenômenos atmosféricos eram tidos como a personificação ou produto da vontade de deuses e outros entes mitológicos. Assim, supunham que a Terra era uma superfície plana flutuando num grande mar, chamado Namu. Esse mar era a origem de toda a criação: o céu, a terra, as plantas, os animais, o homem. Um dia o céu e a terra separaram-se e encarnaram-se em dois deuses, respectivamente Na e Ki.

Esses deuses se acasalaram e tiveram um filho – Entil – senhor da atmosfera, do vento e das tempestades. Debaixo da terra havia um mundo subterrâneo que abrigava as almas dos mortos.

Para os sumerianos, o céu era constituído por cúpulas metálicas. Na mais distante ficavam, imóveis, as *estrelas fixas*. Numa outra cúpula, a mais próxima da Terra, ficavam o sol e a lua. Em uma cúpula situada entre as duas anteriores ficavam as *estrelas errantes* – astros que mudavam de posição em relação às estrelas fixas, podendo-se mesmo observar consideráveis deslocamentos no curso de uma única noite. Constataram até que seu movimento era muito irregular e mesmo retrógrado – daí chamá-los de errantes: haviam descoberto os planetas. Identificaram cinco deles: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.



Fig.1-4. Uma tabuinha babilônica registrando, em caracteres cuneiformes, o cometa de Halley durante uma aparição em 164 aC. Acervo do Museu Britânico de Londres.

Não obstante o misticismo que impregnava a astronomia dos sumerianos, é impossível negar tenha sido o conhecimento obtido e registrado por esses povos valioso alicerce para a edificação da cultura, progresso e descobertas daqueles que os sucederam – inclusive nós. Eles chegaram mesmo a estabelecer um ano de 360 dias e constataram a periodicidade dos eclipses do sol. Chegaram também a predizer um eclipse lunar em 721 a.C. Os babilônios foram os primeiros herdeiros dos conhecimentos astronômicos e astrológicos dos sumerianos [Fig. 1-4].

Seus astrônomos, que também eram escribas e sacerdotes, estabeleceram e registraram numerosos conhecimentos sobre o céu, mais tarde herdados pelos gregos. Assim, por exemplo, a previsão dos movimentos dos planetas visíveis e o ciclo repetitivo de eclipses lunares a cada 18 anos. Somente depois do descobrimento de antigas tábuas de argila caldeias escritas em seus caracteres cuneiformes, constatou-se que a astronomia grega tomou muitos de seus conhecimentos, como se pode depreender dos escritos de Hiparco (século II a.C.) e Claudio Ptolomeu (século II). Os conhecimentos babilônicos devem ter chegado à Grécia

após a conquista do Império Persa por Alexandre Magno, no século IV a.C., quando houve possibilidade de intercâmbio entre os pensadores gregos e caldeus. Na astronomia babilônica cumpre lembrar o astrônomo Seleuco, que viveu no século III a.C., cujas ideias conhecemos través de Pultarco. Ele foi o primeiro a idealizar um sistema heliocêntrico onde a Terra, além de orbitar o Sol, girava ao redor de seu próprio eixo.

1-3. ASTRONOMIA DOS EGÍPCIOS.

A astronomia no antigo Egito, da mesma forma que aquelas dos demais povos antigos, constava de um conjunto de conhecimentos objetivos de caráter inegavelmente científico, obtidos da observação acurada do céu, misturados com uma série de fantasias místicas, criadas pela imaginação dos sacerdotes, empolgados pelo desejo de compreender o mundo. O céu era a personificação da deusa Nut que estendia seu corpo por todo o firmamento, apoiando seus membros nos quatro pontos cardiais suportados pela Terra (Geb). O deus supremo, Amon-Ra, o Sol, navegava em seu barco pelo Nilo celeste, cruzando o céu ao longo do dia. Criaram um calendário solar de 365,25 dias que passou ao Ocidente através de Júlio Cesar em 50 a.C.

As pirâmides foram construídas obedecendo à rigorosa orientação astronômica. Assim, a entrada secreta da pirâmide de Queops só podia ser acessada pelos sacerdotes astrônomos que a identificavam por estar apontando para a estrela Polar. Havia um túnel respirador que permitia a luz de Sírio, estrela sagrada para os egípcios, iluminar, ao nascer no horizonte, a múmia do faraó.

Além do relato de muitas observações astronômicas, incluindo a descrição de 43 constelações, os egípcios nos deixaram, como seu maior legado, um calendário solar que passou ao ocidente em razão da conquista de Júlio Cesar em 48 a.C.

1-4. ASTRONOMIA NA ANTIGA GRÉCIA.

Os gregos tinham uma cultura impregnada de misticismo consubstanciado em uma mitologia rica, criativa, onde os conhecimentos do mundo se mesclavam com as histórias de deuses e deusas que regiam o Universo, embora estes fossem impregnados de características tipicamente humanas. Acreditavam ser a Terra redonda e plana, distribuída ao redor de seu país, a Hélade. Esta era dividida em duas partes iguais pelo mar e rodeada pelas águas do rio-oceano. No centro da Terra situava-se o Monte Olimpo, a morada dos deuses. Ao norte, em região inacessível

por terra e por mar, viviam os hiperbóreos, povo mítico e imortal, que não envelhecia nem padecia de quaisquer males. Essa região situava-se detrás das montanhas cujas cavernas enviavam um gelado vento norte sobre os habitantes da Grécia. Na costa meridional da Terra, moravam os etíopes, tão felizes quanto os hiperbóreos. Os Deuses costumavam participar dos banquetes e sacrifícios oferecidos pelos etíopes. Na parte ocidental da terra ficavam os Campos Elíseos, um lugar para onde os mortais abençoados e favorecidos pelos Deuses eram levados, tornando-se imortais. Percebe-se que os gregos pouco sabiam sobre outros povos, exceto os que habitavam ao leste e ao sul de seu país ou o litoral do Mediterrâneo. Eles imaginavam que a parte ocidental deste mar era habitada por seres mitológicos, gigantes, feiticeiras e monstros. Pensavam que a Aurora, o Sol e a Lua se erguiam do Oceano e atravessavam o ar, do oriente ao ocidente, de modo a levar a luz aos deuses e aos mortais. As estrelas levantavam-se e deitavam-se no Oceano. No monte Olimpo ficava a entrada e a saída dos Deuses, por uma porta guardada pelas deusas chamadas Estações. Os Deuses tinham moradas próprias e distintas, mas visitavam o palácio de Zeus, quando convocados. Esse povo herdou dos mesopotâmicos e egípcios alguns conhecimentos matemáticos bem como registros de observações astronômicas coletadas por mais de 40 séculos.

Foi na Grécia antiga que ocorreu um passo de notável importância no amadurecimento intelectual da humanidade para o estudo dos fenômenos naturais, dentre eles os astronômicos. Até então, os homens haviam aprendido a catalogar a sequência desses eventos e, constatando sua periodicidade, fazer a previsão de suas próximas ocorrências. Numa segunda fase, utilizando o raciocínio matemático, conseguiram prevê-los sem lançar mão de quaisquer registros prévios. Isso significou a passagem da mera análise de dados observacionais, para a elaboração mais abstrata, com maior potencial de generalização. Era mais uma civilização que procurava descrever e entender o mundo.



Fig. 1-5. O Universo, segundo Thales.

O fato mais antigo de que se tem notícia na história da astronomia grega foi a previsão de um eclipse do sol, por Thales de Mileto, em 28 de maio de 585 a.C. É provável que esse pensador,

filósofo, matemático e astrônomo, tenha se baseado em conhecimentos aprendidos com os egípcios. Embora sua predição tenha sido posta em dúvida por muitos historiadores, Tales, considerado o pai da filosofia grega, consolidou uma tendência que já deveria existir entre seus contemporâneos mais bem dotados de inteligência: tentar, empregando o raciocínio e a lógica, introduzir um elemento puramente material na raiz dos fenômenos naturais que observavam, desprezando as explicações de natureza mística que dominavam o pensamento da época. Apesar de seus esforços intelectuais para compreender a estrutura do mundo, Thales ainda acreditava que a Terra fosse um disco plano, flutuando sobre a água [Fig. 1-5]. Sem dúvida, deixou-se levar pelo poder, muitas vezes enganador, da mera observação: a ideia de uma Terra plana é a primeira impressão percebida na infância e também a primeira que teve o homem na infância da humanidade.

Thales, o mais antigo dos filósofos, foi o pai de um procedimento fundamental para o conhecimento do céu. Segundo diz a lenda, estando em viagem no Egito, ele foi desafiado a medir a altura de uma pirâmide. Criou, então, o processo de triangulação, doravante empregado para medir distâncias até objetos inatingíveis – no caso, os corpos celestes. O método consistia em alinhar uma vara de altura **h** [Fig. 1-6] com o ápice da pirâmide de altura **H**, sob o mesmo ângulo de visão. As distâncias **D1** e **D2** poderiam facilmente ser medidas e uma simples comparação entre os triângulos assinalados permite escrever:

$$\mathbf{H/h = D2/D1} \quad \text{donde:} \quad \mathbf{H = h \, . \, D2/D1}$$

Com os conhecimentos trigonométricos modernos, poderíamos dispensar a vara, pois, conhecendo apenas o ângulo **α**, calcular a altura da pirâmide:

$$\mathbf{h = D1 \, tag\alpha}$$

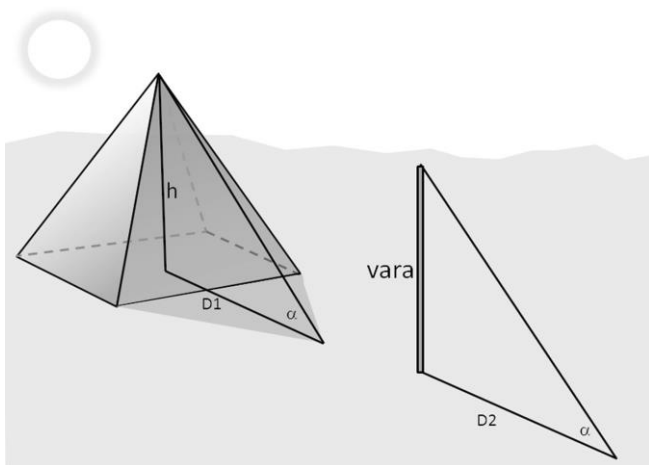

Fig. 1-6. Triangulação – assim Thales mediu a altura das pirâmides.

No proceder de Thales a triangulação é feita à custa de um ponto do observador que olha para dois pontos do objeto observado. O mesmo pode ser feito observando um objeto a partir de dois pontos distantes um do outro. De fato, quando o observador se desloca, passa a ver o objeto segundo um novo ângulo, que define a sua *paralaxe* [A 1-3]. É por isso que os objetos mais próximos de nós parecem mudar sua posição relativa a objetos mais distantes, quando nos deslocamos, criando a paralaxe. Mais adiante veremos como esse fenômeno permitiu cálculo das distâncias onde se encontram as estrelas.



Fig. 1-7. Universo de Anaxi-

Anaximandro (610-547 a.C.) foi outro filósofo da natureza. As teorias de Anaximandro tiveram o mérito de serem umas das primeiras a omitir deuses e outras entidades mitológicas em favor de uma lei natural. Anaximandro não concordava com a concepção de seu mestre Thales, a Terra flutuando no oceano. Em que se apoiava o oceano? Essa ideia conduzia, fatalmente, a uma regressão infinita: se admitirmos "algo" apoiando o oceano, em que se apoiaria esse algo? E assim por diante, sem uma resposta definitiva. A proposta de Anaximandro não se baseava, pois na observação: baseava-se no raciocínio. Para ele, a Terra situava-se no centro do Universo, equidistante de todas as demais coisas e, por isso, não necessitava de nenhum apoio. Por uma razão de simetria, a Terra não teria nenhuma direção referencial para "cair". Foi uma ideia arrojada para a sua época – voltaremos a tratar dela ao cuidarmos mais pormenorizadamente das cosmogonias. Como ponto central do Universo, a Terra era envolvida por anéis de natureza ígnea: o fogo ardia dentro deles [Fig. 1-7]. O anel mais próximo à Terra era a sede das estrelas, que nada mais eram do que orifícios por onde se podia observar o fogo em seu interior. Situava-se a nove raios terrestres de distância. Girando ao redor da Terra, dando uma volta a cada 24 horas, esse anel era responsável pelo dia e a noite. Um anel ígneo mais distante situava-se a 18 raios terrestres e possuía um grande orifício responsável pela imagem da lua. A

27 raios terrestres ficava o terceiro anel, onde um orifício permitia ver o fogo interior: era a imagem do sol.

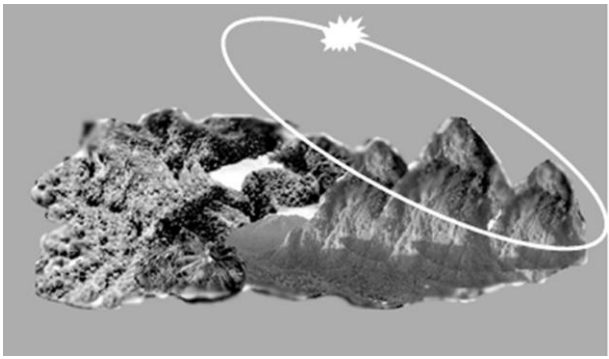

Fig. 1-8. Universo de Anaxímenes

Certamente Anaximandro percebeu, no Universo como um todo, não haver "alto" nem "baixo". Mesmo admitindo a ideia de Thales - ser a Terra cilíndrica - admitiu que nas duas faces devesse haver habitantes, concebendo a noção de antípodas. Parece que esteve próximo de suspeitar da esfericidade da Terra. Para Anaxímenes de Mileto (570-500 a.C.), discípulo de Anaximandro, a Terra era um disco achatado, muito fino, que flutuava no ar. Os outros astros Sol, Lua, planetas eram discos finos, de fogo, também flutuando no ar. Acredita-se que Anaxímenes foi o primeiro a diferenciar os planetas das estrelas [Fig. 1-8].

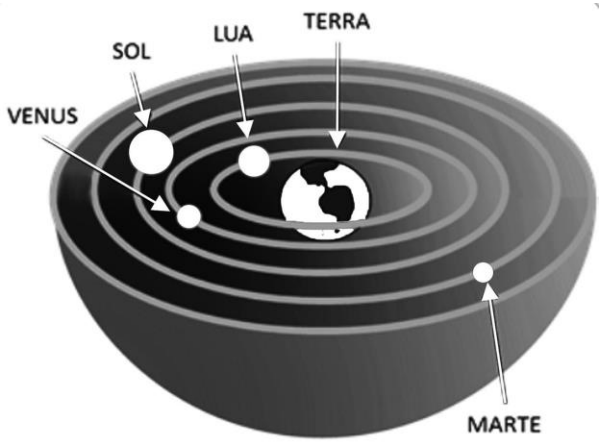

Fig. 1-9. O Universo de Platão e Aristóteles.

Os gregos também perceberam, como já haviam feito os sumerianos, um comportamento curioso dos planetas: em determinadas épocas do ano eles se detinham, subitamente, para depois movimentarem-se por um bom trajeto em sentido retrógrado. Depois, detinham-se outra vez e reiniciavam o movimento em sentido habitual [Fig. 1-10]. Por isso deram-lhes o nome de planetas (do grego πλάνης = errante).

Pitágoras de Samos (580-497 a.C.) criou uma escola filosófica com características de sociedade secreta, na qual apenas os iniciados tinham acesso aos estudos e conhecimentos do grupo. Ainda sob uma atmosfera mística, Pitágoras atribuía natureza quase mágica às figuras ge-

ométricas. Para ele, o círculo era a figura mais perfeita, o próprio símbolo da perfeição. Deus, o Grande Geômetra, certamente adotara o movimento circular para os sete "planetas" conhecidos - Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, Sol e Lua. O Cosmo que comportava em seu centro a Terra, esférica, era dividido pela trajetória da lua em duas regiões: a sublunar, terrestre, imperfeita, sede dos homens e dos movimentos irregulares e a supralunar, perfeita, incorruptível, sede dos movimentos circulares.

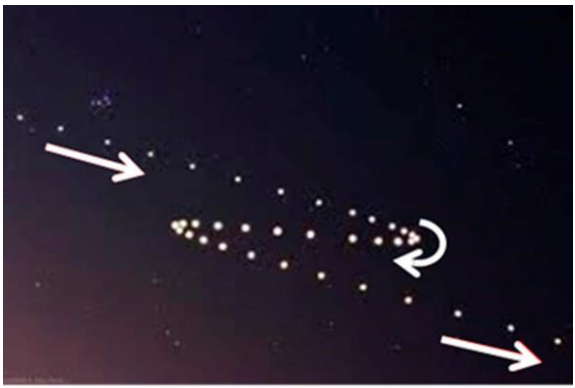

Fig. 1-10. TRAJETO DO PLANETA MARTE. Seguindo da esquerda para a direita, o planeta subitamente inverte o sentido do movimento; após um curto percurso retrógrado, volta a mover-se no sentido anterior.

Para Platão (423-347 a.C.), inegavelmente influenciado pela filosofia de Pitágoras, o Universo era de forma esférica, a forma idealmente perfeita, com a Terra no centro. Segundo sua cosmologia, que foi realmente descrita por seu discípulo, Eudoxo de Cnido (390 – 338 a.C.), astrônomo, matemático, médico, bem como por Aristóteles (384-322), a Terra seria era envolvida por um conjunto de 27 esferas concêntricas, nas quais estavam fixados os outros astros. Em cada uma das esferas mais internas estavam fixos os sete "planetas" conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, Sol e Lua. As estrelas ficavam todas na mesma esfera – a mais externa – daí a manterem fixas as distâncias entre si, perpetuando-se tempo afora a designação de *estrelas fixas*. Além da esfera externa ficava o Empíreo – a morada dos deuses [Fig. 1-9]. Essa concepção foi depois adotada por Aristóteles.

A esfericidade de nosso planeta foi mais tarde proclamada por Aristóteles de Estagira), aluno de Platão na Academia. Ele observou que os navios desapareciam no horizonte primeiro pelo casco e por último pelos mastros. Explicou os eclipses do Sol pela passagem da Lua entre esse astro e a Terra; os eclipses da Lua, quando a Terra passa entre esse astro e o Sol. Nesse caso, a sombra da Terra projetada sobre a Lua é sempre arredondada, confirmando a ideia da esfericidade daquela. Esse

estudioso explicou também que as fases da Lua devem-se a sua posição com relação à Terra e ao Sol. Aristóteles frequentou a academia de Platão quando era dirigida por Eudoxo e foi preceptor de Alexandre, o Grande. Em seu tratado cosmológico sobre o céu – *De caelo* - descreveu e tentou explicar todos os fenômenos celestes. Até então, a filosofia grega admitia fosse a matéria composta por quatro elementos (água, terra, ar e fogo) conforme professava o pré-socrático Empédocles (490-430 a.C.). Aristóteles fala em um quinto, próprio do domínio celeste – o éter ou Quinta Essência – na verdade concebido por seu mestre, Platão. O éter era um ente intangível, ao qual o Criador imprimira um ímpeto inicial e proporcionava animação às esferas, para Aristóteles em número de 55. As esferas onde se situavam os astros eram, para Eudoxo, mais um lugar geométrico, uma rota a ser percorrida, do que uma entidade física. Aristóteles conferiu-lhes uma existência objetiva, embora à custa de um elemento imponderável. Essas esferas eram estruturas reais, porém constituídas por uma substância menos densa que a matéria ordinária, etérea e transparente, mas capaz de conter e sustentar os corpos celestes. Estes, encravados na espessura das esferas, acompanhavam seu movimento. Pensador polivalente, Aristóteles escreveu sobre física, metafísica, música, lógica, retórica, politica, ética, biologia e zoologia, e suas ideias influenciaram a filosofia ocidental até mesmo nos dias atuais. Certamente o peso de sua influência direcionou Hiparco para a teoria geocêntrica.



Fig. 1-11 - Hiparco de Niceia. Fonte: Wikimedia Commons.

Todavia, as esferas girantes não explicavam exatamente os movimentos planetários. De fato, como já haviam relatado os sumerianos e os gregos, se observarmos o trajeto de um planeta na abóbada celeste, vê-lo-emos, em dado momento, inverter o sentido de seu movimento; então ele percorre uma certa distância em sentido contrário àquele que vinha seguindo e, mais adiante, torna a voltar ao sentido anterior [Fig. 1-10]. Ora, se o planeta estiver fixo em uma esfera girante como explicar o seu movimento em marcha-a-ré?

Foi Hiparco de Niceia (190-120 a.C.) [Fig.1- 11] o primeiro astrônomo a propor a *teoria dos epiciclos* [vide seção 1-9] para explicar esse movimento retrógrado. Para compreendermos as razões que impeliam

Aristóteles a aferrar-se à concepção geocentrista, é necessário termos alguma noção de como era a física admitida pelo engenhoso pensador. Para nós, que adquirimos desde a escola primária conceitos corretos de como é constituído o mundo e de como se explicam os fenômenos que observamos, mediante leis físicas e químicas bem definidas que temos por inquestionáveis, podem parecer estranhos os conceitos tidos como corretos na época de Aristóteles. Assim, por exemplo, esse grande sábio não tinha nenhuma noção do que fosse a gravidade. Para ele, um peso não cai porque a Terra o atrai: ele acreditava fosse a Terra o centro do Universo; os corpos compostos por terra ou água tendiam dirigir-se forçosamente em direção a esse centro, que era seu *lugar natural*; já os corpos compostos por ar ou fogo, como a fumaça, por exemplo, subiam para encontrar o seu *lugar natural* - o céu [vide Seção 2-1].

Ainda ignorante quanto aos métodos científicos mais avançados – como a experimentação, por exemplo, a ser introduzida por Galileu, no século XVI - o grande Aristóteles acreditava que os objetos caíam com velocidade maior quanto mais pesados fossem, e o movimento dos corpos exigia uma alguma força a agir continuamente sobre eles – conceitos que hoje causariam estranheza aos alunos do curso fundamental. Realmente, a primeira noção provavelmente ocorrida aos primeiros observadores corresponde ao pensamento aristotélico: quando empurramos um objeto ele se move enquanto perdurar nossa ação sobre ele – se pararmos de empurrá-lo ele se detém, de imediato ou no máximo segue a mover-se por algum tempo, mas acaba parando. Mesmo se provido de rodas. Conclui o "senso comum": a permanência da força propulsora é indispensável para manter o movimento! Hoje sabemos ser o atrito o responsável pela força que *detém* o móvel. Aristóteles não tinha um conceito preciso de *força* e muito menos de *atrito*. Estas ideias começaram tomar forma com Galileu, consolidando-se com Newton, 18 séculos mais tarde!

Parece-nos estranho que os sábios da época de Aristóteles, como fizeram estes últimos, não cogitaram em utilizar experimentos bem planejados, mesmo os mais simples, como a queda de um corpo, para tentar estabelecer leis físicas. Eles se contentavam em observar as ocorrências do dia a dia e valiam-se do enganador "senso comum" para concluir sobre as propriedades da natureza. Ao utilizar experimentos, o cientista não *observa*, mas *interroga* a natureza. Vale a pena lembrar que os conceitos de Aristóteles dominaram completamente o ambiente intelectual ocidental até o século XVII e muito de sua filosofia persiste até hoje!

CALCULANDO A CIRCUNFERÊNCIA DA TERRA.

Eratóstenes de Cirene (276-194 a.C.), bibliotecário e diretor da Biblioteca de Alexandria, foi o primeiro a medir a circunferência da Terra. No acervo da biblioteca ele encontrou o relato que, no primeiro dia de verão, exatamente ao meio dia, na cidade de Siena (hoje Assuam) os raios solares penetravam em um poço paralelamente às suas paredes, iluminando o seu fundo, ou seja: eles eram perfeitamente perpendiculares à superfície da Terra. Eratóstenes realizou observações em Alexandria e em Siena, situada mais ao norte. Confirmou que, em determinada hora do dia os raios solares chegavam o fundo de um poço em Siena – portanto eram exatamente verticais. Na mesma data e hora, em Alexandria os raios formavam um ângulo de sete graus com uma estaca colocada na vertical. Ele concluiu que isso só seria possível se a Terra fosse redonda [Fig. 1-12]. Além disso, conhecendo a distância entre essas duas cidades – cerca de 800 quilômetros - mediante uma simples regra de três ele calculou a circunferência da Terra. Obteve o valor de 46 200 km. É admirável que naquela época, dois séculos antes de Cristo - ele tivesse chegado a um número que muito se aproxima daquele que, com todo avanço científico e tecnológico, pudemos calcular hoje em dia, a saber: 39 941 km. [A 1-1].

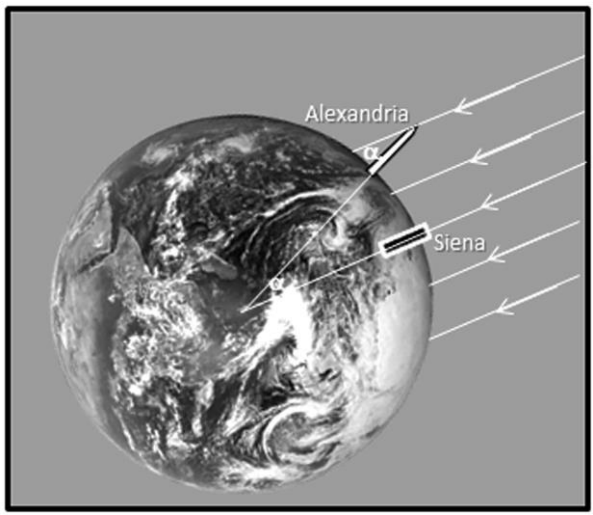

Fig. 1-12. Como raciocinou Eratóstenes para calcular a circunferência da Terra.

O TAMANHO DO UNIVERSO

Estamos no século IV a.C. Até então, não se sabe quanto cogitaram os astrônomos sobre o tamanho do Universo e, se o fizeram, nada ficou documentado. Certamente deveriam atribuir modestos valores às distâncias astronômicas. Ainda hoje, muito provavelmente, a maioria das pessoas pouco ouviu falar, ou passou algum tempo a fazer alguma ideia a

respeito dos 92 bilhões de anos-luz atribuídos atualmente à extensão do Universo visível [vide seção 1-33]! Todavia, é lógico admitir-se, o aspecto quantitativo do Universo deve ter preocupado os estudiosos daquela época. Certamente, numerosas interrogações se afiguravam: Qual era o tamanho da Terra? Qual o tamanho da Lua, do Sol e das estrelas? A que distância da Terra situavam-se esses astros? Até onde se estendia o espaço? Longe de tentar avaliar a distância até às estrelas fixas – o suposto limite do Universo – eles se contentaram, primeiramente, em calcular as distâncias até os astros mais próximos à Terra. As primeiras considerações, ainda sem cogitar em números, foram a respeito da maior ou menor proximidade desses astros. A ideia mais antiga foi admitir estivessem mais distantes os astros que demoravam mais tempo em concluir sua órbita, voltando ao mesmo ponto de partida em relação às estrelas fixas. Saturno, demorando 30 anos para cumprir essa trajetória, deveria ser o mais distante. Seguiam-se Júpiter e Marte, em ordem decrescente. Entre Marte e a Lua – esta o astro mais próximo Terra – estariam o Sol, Mercúrio e Vênus, em ordem difícil de avaliar, pois os três demoravam o mesmo tempo – um ano – para concluir sua órbita.

1-5. PRECURSORES DO HELIOCENTRISMO

Pelo que se sabe, Filolau (470-385 a.C.), pitagórico, foi o primeiro pensador a atribuir movimento à Terra, deslocando-a do centro do Universo, embora ali não estivesse o Sol. Ele propôs um sistema no qual a Terra juntamente com Lua, Sol, Marte, Vênus, Netuno, Saturno e Júpiter giravam em órbitas circulares em torno de um "fogo central". Para ele, a Terra girava em torno desse "fogo central", cuja luz era somente refletida pelo Sol.

Aristarco de Samos (310-230 a.C.), astrônomo e matemático, também calculou a distância da Terra ao Sol e da Terra à Lua [A 1-2]. Ele não adotou a teoria do fogo central, mas foi o primeiro a propor que nosso planeta girava sobre si mesmo em ciclos de 24 horas e se movia em torno do Sol, antecipando-se a Copérnico em quase 2.000 anos. Sendo um discípulo da escola de Pitágoras, é bem possível que seu heliocentrismo tivesse raízes metafísicas: o Sol era considerado pelos pitagóricos como o astro mais importante, por isso deveria estar no centro do Universo. Era óbvio que o Criador aí o houvesse colocado, a fim de que iluminasse todo o Universo. Essa teoria batia de frente com as ideias de Aristóteles e, talvez em razão do enorme prestígio deste último, não foram admitidas pelos estudiosos da época. Segundo Aristarco, as estrelas estavam infinitamente longe, e viu isso como a razão pela qual não havia

nenhuma paralaxe visível. Apenas um astrônomo da época – Seleuco de Selêucia (150 a.C.) – adotou a teoria de Aristarco.

1-6. FIRMA-SE A TEORIA GEOCÊNTRICA

A maioria dos astrônomos gregos apresentavam argumentos físicos e astronômicos contra o modelo heliocêntrico de Aristarco. Assim, segundo a física aristotélica, o movimento "natural" dos corpos deveria ser em direção ao centro do Universo. Ora, a observação diária mostrava que os corpos caem em direção ao centro da Terra – logo, ela só pode estar no imóvel centro do Universo, pois seria necessária uma força descomunal para vencer sua tendência "natural". Lembremo-nos que o conceito de atração gravitacional era totalmente desconhecido para Aristóteles. Segundo ele, também era impossível a Terra girar ao redor de seu próprio eixo. Com uma volta em 24 horas, a velocidade ao nível da sua superfície teria de ser muito grande. Os corpos ali situados estariam submetidos a uma enorme força centrífuga que os arremessaria para o alto. Ainda mais: Aristóteles conhecia muito bem o fenômeno da paralaxe e não o observava nas estrelas, o que seria esperado caso a Terra mudasse de posição em relação a elas.

Heraclides de Pontus (388-315 a.C.) propôs que a Terra girava diariamente sobre seu próprio eixo, Vênus e Mercúrio orbitavam o Sol e este orbitava a Terra. Esta concepção talvez tenha sido o germe da teoria dos epiciclos, proposta por Apolônio, mais de um século depois, para explicar o movimento retrógrado dos planetas, como veremos adiante.

Hiparco de Nicéia (190-120 a.C.) um dos maiores astrônomos da antiguidade rejeitou a teoria heliocêntrica de Aristarco e adotou a teoria das esferas de Eudoxo. Certamente isso se deveu à imprecisão das observações e registros que não podiam comprovar rigorosamente a teoria heliocêntrica. Por outro lado, os heliocentristas não sabiam explicar a variabilidade do brilho e da velocidade dos astros, nem as mudanças de direção de seu trajeto nas várias estações do ano. De fato, Hiparco verificou que o planeta Marte nem sempre se movia de oeste para leste em velocidade constante. Em certas ocasiões, o planeta retardava sua marcha até deter-se por completo. Então, tornava a mover-se mediante uma curva abrupta passando a deslocar-se em a direção contrária, de leste para oeste. Após um breve trajeto desacelerava novamente e retornava ao deslocamento no sentido de oeste para leste [Fig. 1-10]. Esse movimento retrógrado de Marte já havia sido observado pelos sumerianos e também não era explicado pela teoria das esferas. Hiparco aperfei-

çoou o sistema dos epiciclos, idealizado por Apolônio de Pérgamo (262-194 a.C.) para explicar esse estranho comportamento dos planetas. Segundo essa teoria, o astro gira ao redor de um centro que, por sua vez, gira ao redor da Terra [Fig. 1-13]. Ao longo do tempo, há um momento em que o astro se desloca em direção contrária à daquele centro. Para um observador da Terra tudo se passa como se o astro se pusesse a recuar em sua rota. Hiparco foi o primeiro a catalogar as estrelas classificando-as por sua magnitude aparente – como se faz na atualidade. Concluiu sua obra em 129 a.C., catalogando 850 astros. Seu catálogo foi usado por 1 800 anos.

A teoria geocêntrica foi estudada a fundo e exposta por Cláudio Ptolomeu (85-165 a.D.) cientista que trabalhou em Alexandria, onde certamente teve acesso ao acervo científico da notória biblioteca, bem como contato com o pensamento de outros cientistas que por ali passaram - Filon, Eratóstenes, Euclides, Estrabão, Aristarco e Hiparco. Nesse ambiente de intenso conteúdo intelectual concebeu sua obra mais importante, a *Síntese Matemática*. Esse extenso compêndio astronômico compreendendo 13 livros sintetizava as ideias de Eudoxo, Platão, Aristóteles, Hiparco e Posidônio, passou a chamar-se O Grande Astrônomo. No século IX, os árabes usaram o superlativo *Al Magiste* (O Maior) para citá-lo, daí o nome *Almagesto,* com o qual a obra chegou até os nossos dias após dominar os conhecimentos astronômicos por 13 séculos. No *Almagesto*, Ptolomeu descreve o Universo como composto por esferas de uma substância sutil – o éter – evolvendo a Terra, conforme já descrevemos atrás. Os demais astros giravam ao redor da Terra, presos a essas esferas, na seguinte ordem: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno. Segundo Platão e Aristóteles, os astros só poderiam mover-se em curvas perfeitas, a saber, círculos, correspondentes às esferas etéreas que os continham. Entretanto, isso não explicava os movimentos retrógrados e Ptolomeu adotou a teoria dos epiciclos, já proposta por Hiparco [Fig. 1-13]. Esses epiciclos eram contidos em correspondentes esferas, suficientemente espessas para abrigá-los. Todavia, essa teoria não conseguia explicar todos os cursos planetários e Ptolomeu acrescentou novos epiciclos dentro dos demais. Acabou criando uma teoria confusa com 79 epiciclos que já não podia ser compreendida pelos seus colegas. Para piorar a situação, os teólogos idealizaram uma corte de anjos e querubins povoando os céus, cada um deles administrando um epiciclo, de modo a agravar a confusão! Ela só seria desfeita pela teoria heliocêntrica de Copérnico, 15 séculos mais tarde. O tamanho do Universo de Ptolomeu era de 80 milhões de quilômetros

1-7. A ESTAGNAÇÃO DA CIÊNCIA OCIDENTAL

A conquista de Roma pelos germânicos em 410 a.D. marcou o início da Idade Média, um período que durou dez séculos. Durante todo esse tempo, fortaleceu-se consideravelmente o poderio da Igreja. O poder do Papa chegou a sobrepor-se ao dos monarcas, os quais necessitavam a aprovação do Pontífice até mesmo para manter sua posição. Os monges beneditinos assumiram a posição de guardiões da cultura do mundo antigo. Nos mosteiros medievais, copistas e bibliotecários traduziam e conservavam os textos clássicos construindo um acervo do qual germinaria o Renascimento. É evidente que não houve uma parada total das atividades astronômicas nesse período, embora o progresso se fizesse

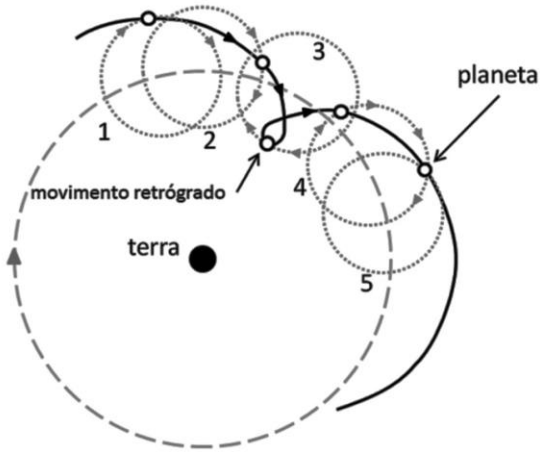

Fig. 1-13. Epiciclos. Em pontilhado os epiciclos e em tracejado a órbita descrita pelos centros dos epiciclos. O planeta gira ao redor dos centros dos epiciclos, segundo as setas, e estes giram ao redor da Terra, na órbita tracejada. O movimento resultante e o da linha cheia. Note-se o movimento retrógrado no terceiro epiciclo.

com penosa lentidão. O interesse pelo estudo dos astros não deixou de empolgar alguns europeus nesse período.

Em 1252, Afonso X, o Sábio, Rei de Castela (Espanha), mais tarde imperador do Sacro Império Romano, convocou 50 astrônomos para revisar o Almagesto, coligindo novos dados - as Tabelas Afonsinas – que mais tarde foram incorporados à obra ptolomaica. Outro refúgio dos valores da antiguidade foi no oriente, com os árabes. Durante o obscurantismo ocidental da Idade Média, os árabes, continuando os trabalhos gregos, produziram notáveis feitos astronômicos e traduziram o Almagesto de Ptolomeu. Graças a isto essa obra chegou até nós. Para eles, a religião foi um dos impulsos para certas pesquisas astronômicas:

era importante determinar a exata direção de Meca, para onde os muçulmanos devem se voltar durante as preces, nas horas certas para suas seis orações diárias, e o calendário lunar. Embora não possuíssem telescópios, construíram vários observatórios e catalogaram muitas estrelas como Aldebarã, Rigel e Deneb, mediram distâncias entre astros, criaram calendários e corrigiram dados de Ptolomeu. Apesar de seus avanços, mantiveram a crença na teoria geocêntrica. Todavia, graças ao trabalho dos astrônomos Averrois, Abúqueber e Alpetragio, começaram a rejeitar a teoria dos epiciclos e propor que os planetas deveriam girar ao redor de um corpo material e não de um ponto geométrico. Os dados por eles anotados foram usados por importantes astrônomos ocidentais, como Copérnico e Ticho Brahe.

É digno de nota o trabalho de astrônomo Abu'l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Kathir al-Farghani, (820? -861?). Ele descreveu minuciosamente o movimento dos corpos celestes e adotou o sistema ptolomaico para calcular distâncias até planetas e estrelas. No século XII seus trabalhos foram traduzidos para o latim. Admite-se que Copérnico tenha de se valido dos cálculos de al Farghani sobre o diâmetro da Terra, e mesmo Colombo os tenha usado nas viagens em que descobriu a América.

1-8. O SISTEMA HELIOCÊNTRICO.

Então Josué falou ao Senhor, no dia em que o Senhor entregou os amorreus às mãos dos filhos de Israel, e disse na presença de Israel: Sol, detém-te sobre Gibeom, e tu, Lua, sobre o vale de Aijalom. E o sol se deteve, e a lua parou, até que o povo se vingou de seus inimigos. Não está isto escrito no livro de Jasar? O sol, pois, se deteve no meio do céu, e não se apressou a pôr-se, quase um dia inteiro.

JOSUÉ, 10:12-13

No século XIII as trevas da idade média começaram a dissipar-se no continente europeu e o germe do Renascimento, que eclodiria no século XVI, começou a plasmar-se. Trazidas e comentadas pelos árabes, as ideias gregas começaram a ser redescobertas. A magnificente filosofia de Aristóteles passou a dominar o pensamento europeu, para o que muito contribuiu o monge dominicano São Tomás de Aquino (1225-1274). Este religioso, de sólida formação científica, em sua Suma Teológica ensinava não haver oposição entre a fé e a razão. Graças a ele, a Igreja passou a adotar uma Teologia, filha da Revelação, e uma Filosofia, fruto do raciocínio humano. Santo Tomás estabeleceu uma ligação profunda

entre o aristotelismo e o cristianismo, adotando as ideias do grego como o suporte filosófico para toda a doutrina cristã. Contrariar Aristóteles equivalia a cometer heresia. Dessa forma, o cristianismo assumiu as ideias aristotélicas como verdades absolutas, e os seus conceitos cosmológicos vieram junto com aqueles físicos, éticos e filosóficos. O geocentrismo aristotélico impôs-se como verdade incontestável para os cristãos. Foi nesse clima que surgiram as teorias heliocêntricas, que não tardaram a entrar em conflito com o pensamento da Igreja. Além do mais, várias passagens da Bíblia, como o trecho acima mostrado, estavam mais alinhadas com o movimento do Sol, e não o da Terra.

Nicolau Copérnico (1473-1543) iniciou sua formação em Cracóvia, estudou medicina e grego em Padova, mais tarde direito canônico, matemática, filosofia e astronomia em Bolonha. Ordenou-se padre em 1501. Estudou a fundo a matemática da teoria geocêntrica de Ptolomeu e reduziu os 79 epiciclos a 34. Mesmo assim, concluiu: essa teoria não explicava satisfatoriamente todos os movimentos dos astros. Deu-se conta, então, que colocando o Sol no centro do sistema, os resultados eram mais coerentes com a realidade. Desde 1513 começou a divulgar suas ideias heliocêntricas, mas tinha medo que uma manifestação mais explícita pudesse colidir com o pensamento da Igreja. Entretanto, guardava para si que a beleza e a lógica matemática do sistema heliocêntrico eram a maior evidência da sabedoria do Criador. Segundo ele afirmava, o Criador não deixaria de colocar a fonte de luz do Universo (o Sol) em seu centro, para iluminar ao mesmo tempo todas as regiões desse "templo". Seus conceitos foram descritos na obra *De Revolutionibus Orbium Celestium* onde ele estuda as órbitas dos principais astros conhecidos na época. Acredita-se que esse trabalho estava concluído em 1533, mas Copérnico não a publicou receando a reação da Igreja que adotara o sistema ptolomaico como sua doutrina oficial. Começou lançando um pequeno resumo da sua teoria, divulgado apenas entre um público restrito. Somente em 1543, graças aos esforços de seu amigo, o matemático Georg Joachim Rheticus, a obra foi publicada, dedicada ao Papa Paulo III: *Ad Sanctissimum Dominum Paulum III Pontificem Maximum.* Copérnico só a viu impressa em seu leito de morte.

Na Fig. 1-14 mostra-se a explicação da trajetória retrógrada de Marte segundo a teoria heliocêntrica, sem a necessidade de recorrer a epiciclos. Note, nessa figura, que para passar da posição 3 para a posição 4 o planeta parece mover-se em sentido retrógrado. Note que as linhas tracejadas vão da Terra a Marte e desenham sua posição projetada no

céu, no alto da figura. Procure colocar-se como um observador postado na Terra e perceba a imagem de Marte no céu, em cada posição – poderá entender como o movimento parece retrógrado em certos pontos da órbita (ponto 4 p.e.).

A maior reação à teoria heliocêntrica veio dos protestantes, na pessoa do próprio Lutero que afirmou, citando a Bíblia*: - Josué mandou o Sol - e não a Terra – deter o seu movimento.* A Igreja Católica a princípio não condenou a obra de Copérnico. A *De Revolucio nibus*, além de ser dedicada ao Papa, tinha um prefácio da autoria de seu editor, o clérigo luterano Andreas Osiander o qual, sem ser autorizado por Copérnico, afirmava tratar-se apenas de um exercício matemático, uma mera hipótese, sem pretensão de corresponder à realidade. O Papa Clemente VII aprovou a obra. A Igreja só passou a importar-se com ela no século XVII quando surgiram os trabalhos do frade dominicano Giordano Bruno, incluindo-a no *Index Librorum Prohibitorum* em 1616.

Thomas Digges (1546-1595) foi um astrônomo inglês que traduziu os escritos de Copérnico para seu idioma. Segundo ele, tendo em vista a rotação da Terra, não havia sentido em admitir-se uma esfera contendo as estrelas fixas.

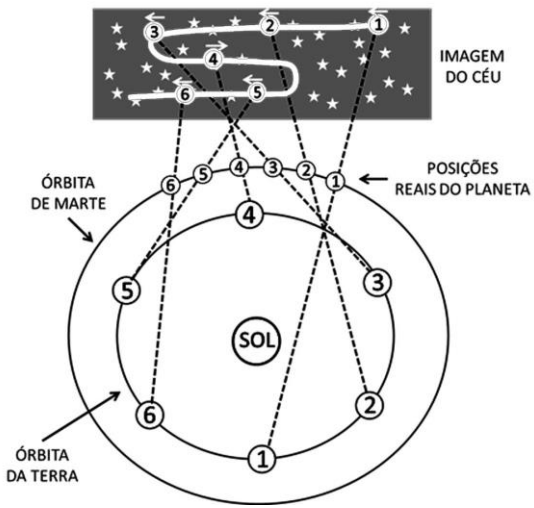

Fig. 1-14 Retrogradação de um planeta exterior vista à luz do modelo heliocêntrico. Os números representam as posições sucessivas dos dois planetas ao longo do tempo. Note que na passagem da posição 3 para a 4, embora mantendo sua órbita, para um observador da Terra o planeta o planeta parece andar para trás. A linha branca em forma de S representa o trajeto visto por esse observador.

Para Copérnico, não haveria nada além dessa esfera. Para Digges, o espaço era infinito, e por ele as estrelas se espalhavam nas mais diferentes direções e distâncias.

Em 1584 Giordano Bruno (1548-1600) [Fig. 1-15], teólogo, filósofo, escritor, matemático, poeta e frade dominicano italiano, adotou as ideias de Digges anunciando, em seu livro *De l'infinito Universo e mondi*, um espaço ilimitado e infinito, onde nem o sol é o centro, mas sim apenas um dos muitos sóis e planetas que constituem outros sistemas iguais ao de Copérnico. Suas ideias contrariavam a cosmologia retrógrada da Igreja e ele acabou preso pela Santa Inquisição, sendo queimado vivo em uma praça pública de Roma, em 1600. Ao contrário de Galileu, ele negou-se a retratar-se perante a Igreja.

Galileu Galilei (1564-1642), considerado o pai da ciência moderna, contrapôs o método experimental à metodologia abstrata de Aristóteles, criando novas leis para a mecânica. Graças a experimentos estabeleceu as leis do movimento uniformemente acelerado e pendular; demonstrou que velocidade adquirida pelos corpos em queda livre independe do seu peso; enunciou o princípio da inércia e o conceito de sistemas referenciais inerciais – temas indispensáveis para o desenvolvimento da mecânica newtoniana. Segundo o *princípio da inércia*, o movimento retilíneo e uniforme de um corpo manter-se-á indefinidamente a não ser que um obstáculo o detenha. Como já dissemos, Aristóteles acreditava que seria necessária uma força constante para manter o movimento. Ele se baseava na experiência diária de os corpos que avançam no ar ou na água acabam por deter-se, mesmo sem a presença de algum obstáculo opondo-se a ele. Ignorando o método experimental, não chegou a aperceber-se da força do atrito – a responsável pela cessação do movimento, na maioria dos casos. Galileu experimentou exaustivamente usando esferas a rolar sobre superfícies de diferente aspereza, dando-se conta que, quanto mais diminuía o atrito, mais tempo o movimento se mantinha. Concluiu que, se o atrito fosse totalmente abolido, o movimento se manteria indefinidamente.



Fig. 1-15. Giordano Bruno

Aristóteles negava o movimento da Terra, certamente baseado no "senso comum": se a Terra estivesse em movimento, um objeto em

queda livre seria deixado para trás. Galileu afirmou que abandonando-se uma pedra do alto do mastro de um navio ela sempre cai junto ao pé do mastro, estando o navio parado ou em movimento.

Para um observador em terra firme, a pedra executa um trajeto curvilíneo, seguindo rente ao mastro em movimento até cair junto ao seu pé; já um observador a bordo verá a pedra cair verticalmente, sempre ao lado do mastro [Fig. 1-16]. Da mesma forma um observador fixo à Terra sempre vê um peso descer na vertical, pois ele acompanha o movimento do planeta. Deslocando-se junto com a Terra, o observador não percebe o componente horizontal o movimento. Assim o sábio ita-

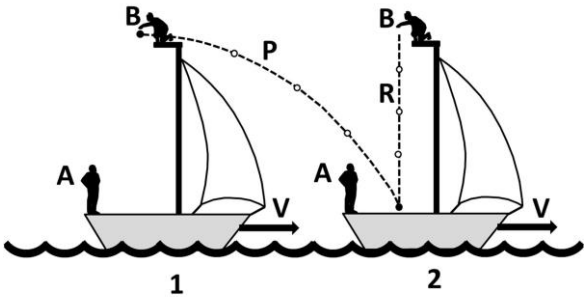

Fig. 1-16. Um barco se desloca em linha reta com velocidade uniforme V. Quando o navio se encontra na posição 1, um homem B deixa cair uma pedra, do alto do mastro. A pedra é observada por outro homem A. Para este último, a pedra desce verticalmente, segundo uma reta R, paralela ao mastro, e cai a seus pés quando o navio alcança a posição 2. Entretanto, um segundo observador, postado em terra firme, a certa distância do barco, vê a pedra descrever uma curva – a parábola P – antes de cair aos pés de A. Qual dos dois observadores observou a trajetória verdadeira do móvel ?

liano estabeleceu o conceito de *sistema referencial*. Para os observadores situados no navio, o referencial mais evidente é o navio. A queda de um objeto, para ele, faz-se segundo uma linha reta, vertical. Já para um observador postado na Terra, fora do navio, esse objeto descreve uma trajetória curva, em sua queda. Qual dos dois está com a razão? É o que veremos adiante.

Galileu foi o primeiro astrônomo a apontar um telescópio para o céu, em 1610. Nesse ano descobriu que a Via Láctea era composta por milhares de estrelas, e não por *exalações celestiais* como queria Aristóteles; descreveu as crateras da Lua e descobriu os satélites de Júpiter, fato que veio reforçar a teoria heliocêntrica. Pondo-se a favor do sistema copernicano, desde 1613 Galileu iniciou uma contenda com a Igreja a qual, em 1616, considerou herético o sistema heliocêntrico colocando no *Index* o *De Revolutionibus* de Copérnico. Em 1633 Galileu foi condenado pelo Santo Ofício, sendo obrigado a retratar-se, renegando a teoria heliocên-

trica para escapar da fogueira. Passou o resto de sua vida em prisão domiciliar, proibido de receber quem pudesse discutir ciência e tendo suas publicações incluídas nos *Index*.

Tycho Brahe (1546-1601) foi um astrônomo dinamarquês que se dedicou ao estudo do sistema de Copérnico. Propôs uma teoria conciliatória entre o geocentrismo e o heliocentrismo: os planetas girariam ao redor do Sol e este ao redor da Terra. Ainda na era pré-telescópio conseguiu copilar dados muito precisos sobre órbitas planetárias que foram utilizados por Kepler para elaborar suas célebres leis e firmar a teoria de Copérnico. Estudou mais pormenorizadamente o planeta Marte e seus resultados possibilitaram que seu aluno Kepler estabelecesse as leis que regem todos os movimentos planetários.

Johannes Kepler (1571-1630), matemático e astrônomo alemão, estudando dados obtidos por seu mestre, Ticho Brahe, concluiu que as órbitas planetárias deveriam ser elípticas para explicá-los. Formulou então as suas três leis do movimento planetário. Elas serviram de base para Isaac Newton estabelecer as leis fundamentais da mecânica e a lei da gravitação universal.

1-9. AS LEIS DE KEPLER

Dou graças a Ti, ó Criador, porque me regozijo na Tua obra e exulto como o trabalho das Tuas mãos. Vede: agora, concluí o trabalho da minha profissão, tendo usado tanto quanto de destreza Tu me deste.

JOHANNES KEPLER - Harmonic Mundi 16

1.a Lei (Lei das órbitas):

– Tomando o Sol como referencial, todos os planetas movem-se em órbitas elípticas, localizando-se o Sol em um dos focos da elipse descrita [Fig. 1-17].

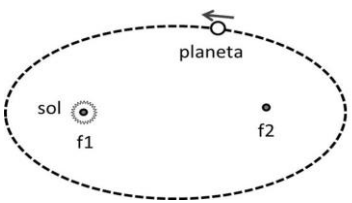

Fig. 1-17. 1ª lei de Kepler

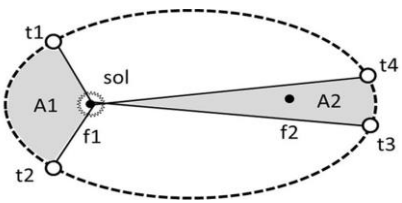

Fig. 1-18. 2ª lei de Kepler

2.a Lei (Lei das Áreas):

O segmento de reta traçado do centro de massa do Sol ao centro de massa de um planeta do Sistema Solar varre áreas iguais em tempos iguais – A1=A2 [Fig. 1-18]. Esta figura representa um planeta em quatro posições de sua órbita elíptica em torno do Sol. O ponto mais próximo do Sol chama-se *periélio* e o mais afastado *afélio*.

a) No periélio, a velocidade de um planeta tem módulo máximo, enquanto que, no afélio, tem módulo mínimo.

b) Do periélio para o afélio, um planeta descreve movimento retardado, enquanto que, do afélio para o periélio, movimento acelerado, ou seja: *A velocidade de rotação dos planetas ao redor do Sol não é uniforme. Os planetas andam mais rápido quando estão mais próximos do Sol e mais devagar quando estão mais afastados.*

3.a Lei (Lei dos Períodos):

Para qualquer planeta do sistema solar, o quociente entre o cubo do raio médio (**r**) da órbita e o quadrado do período de revolução (**T**) em torno do Sol é constante [Fig. 1-19].

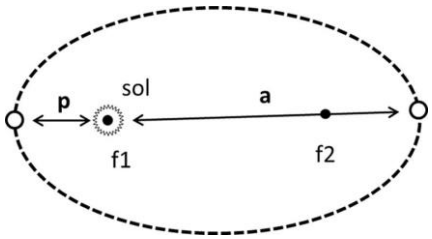

Fig. 1-19. 3ª lei de Kepler

Ou seja, algebricamente:

$$\frac{r^3}{\tau^2} = k_p$$

Na figura, as distâncias do afélio (ponto mais distante) e do periélio (ponto mais próximo) ao centro de massa do Sol são **a** e **p**.

Raio médio da órbita (**r**) – A média aritmética entre **a** e **p**:

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{a+p}}{\mathbf{2}}$$

Isso significa que quanto mais um planeta estiver longe do sol mais tempo levará para completar sua órbita.

1-10. AS LEIS DE NEWTON.

Isaac Newton (1643-1727), astrônomo, físico e matemático in-

glês, deixou importantíssimas contribuições no campo da matemática e da física, entre elas: o binômio de Newton, o Cálculo diferencial e integral, o telescópio refrator, as Leis do Movimento (ou Fundamentais da Dinâmica) e a Lei da Gravitação Universal.

No livro Philosophiae *Naturalis Principia Mathematica* Newton enuncia pela primeira vez as três leis da Dinâmica que são hoje conhecidas como as Leis de Newton e cujo enunciado, em termos atuais, é o seguinte:

1ª Lei (Lei da Inércia ou Princípio de Galileu) – *Se um corpo não estiver sujeito a alguma força, permanece em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme;*

2ª Lei (Lei Fundamental da Dinâmica) – *Quando um corpo fica sujeito a uma força, adquire uma aceleração proporcional a essa força e inversamente proporcional à massa do corpo; em termos matemáticos.*

a = k. F/m [vide A 1-4]

3ª Lei (Lei da Ação-Reação) - *Quando um corpo exerce sobre outro uma força, este último também exerce sobre o primeiro uma força de igual intensidade e de sentido contrário.*

Nessa mesma obra, Newton enunciou a Lei da Gravitação Universal: *Dois corpos materiais atraem-se mutuamente na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que os separa.*

Formalmente: **F = G. m1.m2/d2 (G = 6,6743 × 10^{-11} m3 kg^{-1} s^{-2})**

A bem da verdade, convém lembrar que a influência do quadrado da distância na força da atração foi objeto de uma carta enviada a Newton por Robert Hooke (1635-1703), outro célebre físico, então presidente da Royal Society. Também o padre francês Ismael Bullialdus, corrigindo as propostas de Kepler, aventou a ideia da diminuição da força da gravidade com o quadrado da distância, quando Newton tinha apenas dois anos de idade.

A lei da Gravitação Universal veio completar o estudo matemático do movimento planetário. Aplicando-a a corpos materiais em movimento interagindo entre si, obtém-se, por dedução, que as órbitas resultantes são elípticas, como descrevera Kepler.

Consolidando-se o conceito de gravidade e quais as leis que a regiam, pareceu estar estabelecida uma verdade inquestionável na mecânica celeste: os planetas orbitam ao redor do sol em órbitas elípticas e a sua constante mudança de direção deve-se a uma força de atração que o

grande astro exerce sobre eles.

Admitimos essa verdade desde crianças – pois assim nos ensinaram nos bancos escolares. Talvez poucos tenham parado para pensar: O sol exerce, à distância, uma força de atração sobre a Terra, a Terra exerce uma força sobre a Lua, sobre nós, e sobre qualquer outro corpo material. Todavia, excetuando os fenômenos elétrico e magnéticos, todas as demais interações que se processam entre corpos materiais resultam do contato direto entre eles. Uma força exercida à distância... Não parece estranho? Como isso é possível? Todavia, ao levantarmos um objeto qualquer nós sentimos essa força! Chamamo-la de peso! Então o "senso comum" nos convida a admiti-la como real.

As teorias científicas permanecem como verdades... até serem contestadas, e substituídas por outras mais condizentes com realidade. E a realidade nem sempre corresponde ao que nossos sentidos nos informam. Como veremos adiante, ao contrário do que se admitiu até início do século XX, embora a lei da Newton seja matematicamente correta e permita descrever com notável exatidão [A 1-5] os fenômenos celestes, a teoria Geral da Relatividade afirma que não existe nenhuma força produzida à distância entre dois corpos materiais, a Terra não exerce nenhuma força sobre a Lua e nem o Sol sobre a Terra [A 1-6]! Segundo essa teoria, não existem forças gravitacionais mútuas entre quaisquer porções de matéria, e a lei newtoniana da Gravitação Universal é apenas uma maneira simplificada e imprecisa de descrever os fenômenos gravitacionais – como veremos logo mais.

1-11. GEOCENTRISMO X HELIOCENTRISMO: LUTA INGLÓRIA?

Finda a contenda entre geocentristas e heliocentristas, houve tempos de paz entre a Ciência e a Igreja, ou melhor: entre a Ciência e a Religião. Muitas palavras e muitos papéis foram gastos, muito sangue se derramou, muitos padeceram tortura, muitas vidas arderam na fogueira da Inquisição, mas, o mais irônico disso tudo é que – hoje sabemos – foi em vão toda essa contenda, que durou mais de vinte séculos! Embora a maioria das pessoas não saiba, a teoria heliocentrista de Copérnico e Galileu não derrotou, no frigir dos ovos, o geocentrismo de Hiparco e Ptolomeu. Segundo a Teoria da Relatividade Restrita, hoje admitida por expressiva parte da comunidade científica, a razão não terminou com nenhum desses ferrenhos contendores: de fato, é absolutamente indiferente considerar que a Terra gire ao redor do sol ou que este astro gire ao redor da Terra. Também é indiferente que a Terra gire sobre seu eixo ou

que todo Universo gire ao redor da mesma! Na verdade, tanto faz! Segundo a teoria da Relatividade, não existe nenhum ponto privilegiado no Universo a ser tomado como referência absoluta. Não é rigorosamente correto afirmar que um trem se desloca sobre a superfície fixa da Terra, como nos sugere o "senso comum". Assim nos parece por que, acostumados a habitar e andar sobre o chão, tomamos a Terra como ponto de referência "absoluto". Dizer que é a Terra que se desloca sob o trem estaria absolutamente correto! Se houvesse uma pulga inteligente nascida em um vagão do trem, ao olhar pela janela certamente ela acreditaria que seu mundo – o vagão – está parado e o chão e toda a paisagem estariam em movimento. E ela estaria tão certa (ou tão errada) quanto nós: não há nenhuma razão para considerarmos absolutamente fixos nem a Terra nem o trem! Eles se movem um em relação ao outro [A 1-7]. Entretanto… será que podemos confiar cegamente na Relatividade? Não existiria, de fato, algum referencial absoluto no universo? Voltaremos ao tema ao longo desta narrativa.

1-12. MEDIDAS DO UNIVERSO

Como as distâncias astronômicas são descomunais com respeito àquelas que empregamos em nosso dia-a-dia, usam-se medidas adequadas a tais grandezas. Assim, em lugar de falarmos 10.000.000.000.000 de quilômetros (10 trilhões de km ou 10^{16} metros), falaremos em 1 ano-luz, pois essa é a distância percorrida pela luz em 1 ano, viajando a 300.000 quilômetros por segundo. Não raro os astrônomos empregam a medida *parsec*. Esta medida depende do ângulo de observação, mas, para fins didáticos, podemos considerar 1 parsec = 3,26 anos-luz. As primeiras medições da distância até uma estrela foram feitas por dois astrônomos alemães quase na mesma data: Friedrich Georg Wilhelm von Struve, calculou a distância da estrela Vega, em 1837 (30 anos-luz) e no ano seguinte Friedrich Wilhelm Bessel fez o mesmo com a estrela 61 da constelação do Cisne (11,4 anos-luz). Elas utilizaram a técnica da paralaxe [A 1-3]. O método da paralaxe é usado para medir distância a pontos de difícil acesso e baseia-se no seguinte: um mesmo objeto visto de diferentes pontos implica em diferentes ângulos da linha de visão. Se quisermos medir a largura de um rio a partir de uma das margens, procedemos assim: observamos com uma luneta um objeto na outra margem, situado bem à nossa frente (pedra branca da Fig. 1-20). A seguir, andamos uma distância **D**. Agora, para focalizarmos o objeto, será necessário girar a luneta de um ângulo α. Com esses dois valores e uma tábua trigonométrica podemos calcular a largura **X** do rio: $\mathbf{X = D.\ tag\ \alpha}$. O mesmo

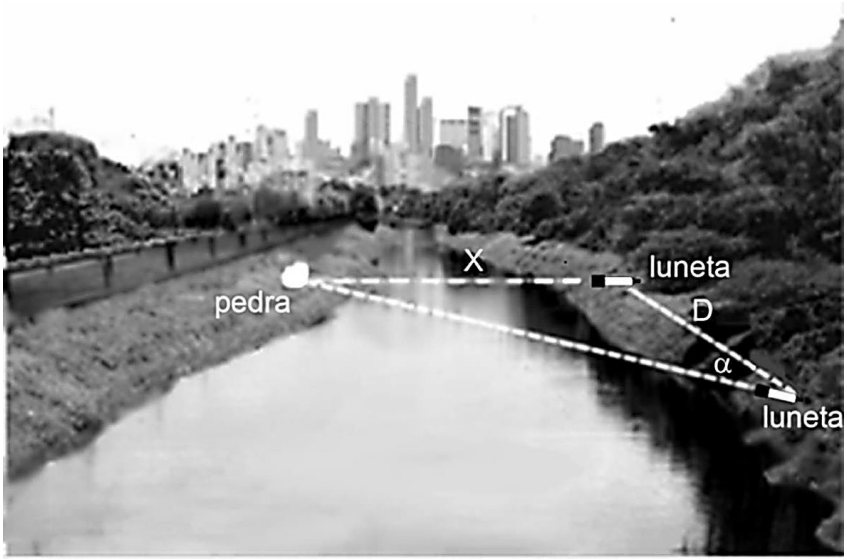

Fig. 1-20. Técnica da paralaxe para medir distâncias a pontos inacessíveis.

raciocínio vale para uma estrela: no caso, a distância **D** é tomada como sendo o diâmetro da órbita terrestre ao redor do sol, ou seja: fazemos duas observações separadas por seis meses.

Na Fig. 1-21 chamamos o raio da órbita terrestre de **r** e a distância até a estrela de **d**. Vê-se que **d= r/tg α**. Note-se que quanto mais próxima estiver a estrela da Terra, maior será o ângulo de paralaxe. Como um exemplo calculemos a distância da mais próxima da terra, a

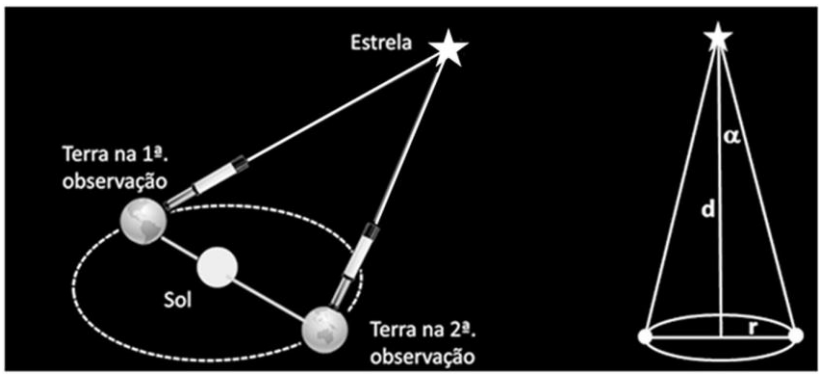

Fig. 1-21. PARALAXE ESTELAR. A estrela é observada com um intervalo de 6 meses. Sabendo-se a extensão do diâmetro da órbita terrestre e o ângulo entre as duas posições da luneta, é possível determinar a distância da Terra ao astro.

Proxima Centauri: seu ângulo de paralaxe é de 1,28", e sendo o raio da órbita terrestre 150 milhões de quilômetros, resulta d = 39.925.420.000.000 km = 4,22 anos-luz.. Na figura à 1-21 é fácil notar: d (distância da Terra à estrela) = r (raio da órbita terrestre) / tg α

1-13. A DESCOBERTA DO UNIVERSO.

Desde o primitivo interesse pelos céus, até os tempos de Galileu, Kepler e Newton, o pensamento investigador dos estudiosos esteve praticamente dirigido aos planetas conhecidos desde a antiguidade (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), estudando seus movimentos em relação às estrelas, calculando suas órbitas, eclipses e bem assim satélites que os acompanhavam. Todavia, outros pormenores celestes, como a Via-Láctea e as nebulosas começaram a chamar a atenção dos exploradores dos céus, especialmente após o advento do telescópio. Foi assim que começou a ser escrito o mais maravilhoso romance jamais imaginado antes: a descoberta do Universo em toda sua grandeza.



Fig. 1-22. Constelação das Plêiades. Fonte: NASA in Wikimedia Commons.

AS CONSTELAÇÕES

Como já dissemos atrás, os mais antigos observadores do céu costumavam descrever agrupamentos de estrelas que se denominaram constelações. Esse costume, nascido ainda em tempos dominados por ideias míticas, conseguia enxergar, no céu, figuras e personagens lendários compostos por esses grupos estelares. Entre os gregos, descreveu-se o caminho por onde o sol transitava ao longo do ano – o zodíaco – que possuía 12 constelações. Esse trajeto solar era estudado pela Astrologia – uma pseudociência que nasceu junto com a Astronomia e com ela permaneceu unida por muitos anos, até o espírito científico determinar o divórcio das duas, colocando a Astrologia na posição de superstição ou crendice. De fato, segundo a Astrologia, a personalidade e o destino dos homens bem como vários aspectos de sua existência estavam definidos no momento do seu nascimento, segundo a posição do sol, naquela hora, em relação ao zodíaco. A constelação sobre a qual o sol se encontrava passava a constituir o signo zodiacal do nasci-

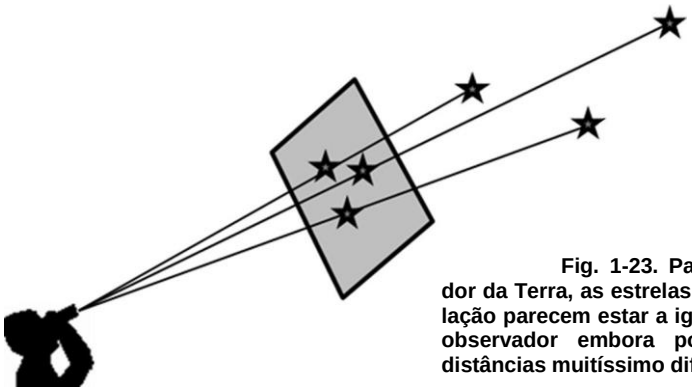

Fig. 1-23. Para um observador da Terra, as estrelas de uma constelação parecem estar a igual distância do observador embora possam estar a distâncias muitíssimo diferentes.

turno, e sua magia estaria inexoravelmente ligada a ele. O critério de agrupar as estrelas em constelações persiste até os dias atuais, mas segundo um conceito ligeiramente diverso. Para a astronomia moderna as constelações são áreas bem definidas da esfera celeste, aproveitando-se os padrões classicamente definidos e formados por estrelas importantes, aparentemente próximas entre si [Fig. 1-22]. Na verdade, essa proximidade pode ser, de fato, apenas aparente: no aspecto aparentemente plano do céu, podem parecer juntas estrelas separadas por distâncias inimagináveis [Fig. 1-23]. Existem 88 constelações reconhecidas pela União Astronômica Internacional onde estão incluídas, dentre outras, as 48 constelações descritas no Almagesto de Ptolomeu, no século II. . Os astrônomos servem-se das constelações como pontos de referência para situar inúmeros entes e acontecimentos celestes.

AS ESTRELAS E OUTROS CORPOS CELESTES

As estrelas serão mais bem estudadas na seção 1-22 e 3-7. Por ora diremos que as estrelas são enormes corpos esféricos, com tamanho de 0,1 a 100 vezes aquele do nosso Sol (que também é uma estrela). Quando as procuramos na abobada celeste, não conseguimos visibilizar mais do que 3 mil delas, em razão da enorme distância em que se encontram. Contudo, sabemos que existem bilhões no Universo. São constituídas fundamentalmente por gases ionizados, e a gigantesca energia que irradiam provém de reações atômicas que ocorrem em seu núcleo, como veremos logo mais. As estrelas podem ser solitárias ou apresentar-se agrupadas em conjuntos denominados *aglomerados*. Existe um tipo interessante de estrela, as estrelas pulsantes: o seu brilho aumenta e diminui, em períodos bem determinados de tempo. São chamadas *cefeidas* e logo veremos como o estudo destas estrelas foi importante no progresso da

astronomia.

Outros objetos chamam nossa atenção, no céu. Assim os cometas, que são astros de órbitas imensas e levam anos para concluir uma volta ao redor do sol. É famoso o cometa de Halley, que demora 35 anos para passar por perto de nós. Os asteroides são blocos menores que também orbitam o Sol. Em nosso sistema há um conjunto importante deles entre Marte e Júpiter. Possuem diâmetro de um quilometro e até mesmo algumas centenas de quilômetros de superfície. Outros astros, que merecem especial referência, na verdade são invisíveis: buracos negros.

BURACOS NEGROS

Espalhados pelo espaço existem corpos de densidade tão grande que nem a luz consegue vencer sua atração gravitacional. Por isso, não emitem nenhuma radiação. A existência de corpos com tal poder gravitacional foi prevista no século XVIII pelo reverendo e astrônomo britânico John Michell (1724-1793), ao estudar o movimento de estrelas duplas descritas por William Herschel (1738-1822), astrônomo alemão. Alguns anos mais tarde, Pierre-Simon Laplace (1749-1827), astrônomo e físico francês, também os descreveu, dando uma prova matemática da sua existência em sua obra Exposition du Système du Monde [8]. Modernamente, existência dos buracos negros foi demonstrada por Karl Schwarzschild (1873-1916), astrônomo alemão, em 1916, a partir da Relatividade Geral. Eles eram considerados uma curiosidade matemática. A descoberta de estrelas de nêutrons pela astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell (1947) em 1967 endereçou a atenção dos estudiosos para tais corpos. Como muitas outras, uma mulher é deixada para trás: seu chefe, Antony Hewish, abiscoitou o prêmio Nobel de Física em 1974, à custa do trabalho de Jocelyn.

Uma vez formado, um buraco negro pode continuar a crescer absorvendo matéria do ambiente. Pode absorver outras estrelas e se fundir com outros buracos negros. Formam-se assim buracos negros supermassivos, com milhões de massas solares (é uma prática astronômica calcular a massa dos astros



Fig. 1-24. Buraco negro. A luz que está sendo capturada envolve o buraco.

tomando a do sol como unidade). Como a matéria atraída pelo buraco negro possui momento de inércia de rotação, parte dela fica girando ao redor do buraco, constituindo uma formação chamada *disco de acreção* [vide seção 3-7]. Em 10 de Abril de 2019 foi possível "fotografar um buraco negro" situado a 55 milhões de anos luz. Como, se a luz não pode sair dele? Na verdade, a luz, vinda de todas as direções, é atraída pelo buraco negro e pode ser detectada antes que chegue ao ponto de não retorno. A foto mostra um halo luminoso ao redor de uma imagem negra [Fig. 1-24]. Leia mais sobre buracos negros no apêndice 3-4.

A VIA LÁCTEA.

A faixa leitosa que se estende de horizonte a horizonte e pode ser vista mais facilmente nas noites sem luar e longe das luzes da cidade, dividindo o céu noturno em duas metades, era bem conhecida dos antigos gregos e romanos. Segundo a mitologia desses povos, Zeus teve um filho – Hércules – com a mortal Alcmena e colocou-o no seio de Hera, a esposa adormecida, para que sugasse o divino leite – requisito indispensável para torná-lo imortal. Já possuidor de força descomunal, o recém-nascido sugou com tamanha força que provocou aguda dor na deusa. Despertando, Hera afastou de si o menino. O leite jorrou em descomunal quantidade e subiu aos céus, dando origem à via láctea (= caminho do leite). Os gregos a chamavam de galáxia (= leitoso). Na visão mais científica de Anaxágoras (500-438 a.C.) e Demócrito (450-370 a.C.) a esteira luminosa já era considerada como um conglomerado de estrelas distantes – embora eles não conseguissem vê-las, a olho nu – não obstante Aristóteles (384-322 a.C) a tenha considerado uma exalação ígnea de estrelas próximas na região mais alta da atmosfera. Mais tarde, outros observadores – o persa Abu Rayhan al-Biruni no século XI, o andaluz Ibn Bajjah no século XII e o sírio Ibn Qayyim Al-Jawziyya no século XIV - também supuseram fosse a Via-Láctea constituída por estrelas. Somente em 1609, Galileu apontou seu telescópio para a faixa brilhante do céu e verificou que, realmente, ela era constituída de miríades de estrelas, conforme deixou escrito em seu livro *Sidereus Nuncius*. Em 1755 Imanuel Kant propôs que a Via Láctea era um cinturão de estrelas, a girar ao redor do Sol, como os demais planetas. Seria de um aglomerado de incontáveis estrelas (hoje se admite sejam 400 bilhões), uma delas o Sol.

Estudando a distribuição das estrelas, os astrônomos ingleses William e John Herschel (pai e filho) puderam, em 1785, estabelecer que a forma da via láctea, ou galáxia, era um disco lentiforme com o sol no