

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 1

A história da Cosmologia

Presidente da República
Dilma Vana Rousseff

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação
José Aldo Rebelo Figueiredo

Secretário-Executivo do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Álvaro Doubes Prata

Subsecretário de Coordenação de Unidades de Pesquisas
Kaio Júlio César Pereira

Diretor do Observatório Nacional
João Carlos Costa dos Anjos

Observatório Nacional/MCTI (*Site*: www.on.br)
Rua General José Cristino, 77
São Cristóvão, Rio de Janeiro - RJ
CEP: 20921-400

Criação, Produção e Desenvolvimento (*Email*: daed@on.br)



Carlos Henrique Veiga
Cosme Ferreira da Ponte Neto
Sílvia da Cunha Lima
Vanessa Araújo Santos
Giulliana Vendramini da Silva
Giselle Veríssimo
Caio Siqueira da Silva

Equipe de realização

Conteúdo científico e texto
Carlos Henrique Veiga

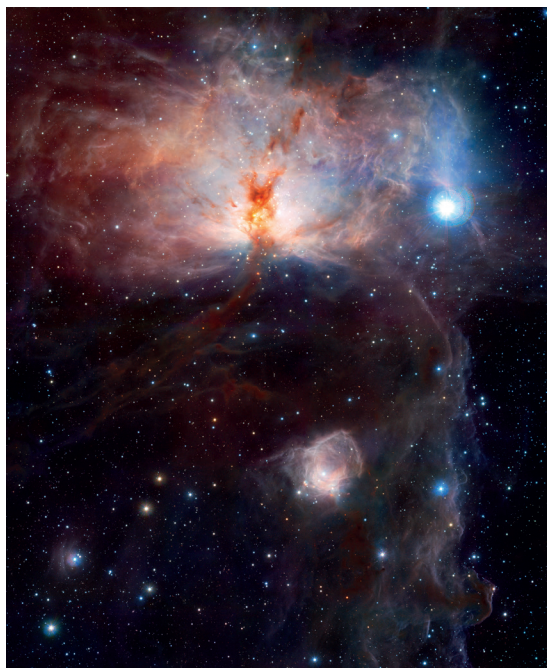
Projeto gráfico, editoração e capa
Vanessa Araújo Santos

Web Design
Giselle Veríssimo
Caio Siqueira da Silva

Colaboradores
Ney Avelino B. Seixas
Alex Sandro de Souza de Oliveira

Este livro é dedicado a Antares Cleber Crijó (1948 - 2009) que dedicou boa parte da sua carreira científica à divulgação e popularização da ciência astronômica.

© 2015 Todos os direitos reservados ao Observatório Nacional.



Capa do Módulo 1: Nebulosa da Chama (Flame Nebula, NGC 2024). Nebulosas são nuvens de poeira e gás, de formação de estrelas, conhecidas como “Berço das Estrelas”. Descoberta por William Herschel, em 1786, a NGC 2024, localizada na constelação de Orion, está a uma distância de 1500 anos-luz do Sistema Solar.

Crédito: European Southern Observatory (ESO)

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 1

A história da Cosmologia

OBSERVATÓRIO NACIONAL

O Observatório Nacional (ON), instituto de pesquisa vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), atua em três grandes áreas do conhecimento – Astronomia, Geofísica e Metrologia em Tempo e Frequência, nas quais realiza pesquisa, desenvolvimento e inovação, com reconhecimento nacional e projeção internacional.

Fundado pelo Imperador D. Pedro I em 15 de outubro de 1827, o Observatório Nacional é uma das mais antigas instituições dedicadas à ciência no Brasil. No campus que ocupa desde a década de 1920, em São Cristóvão, no Rio de Janeiro/RJ, o passado e o presente se encontram.

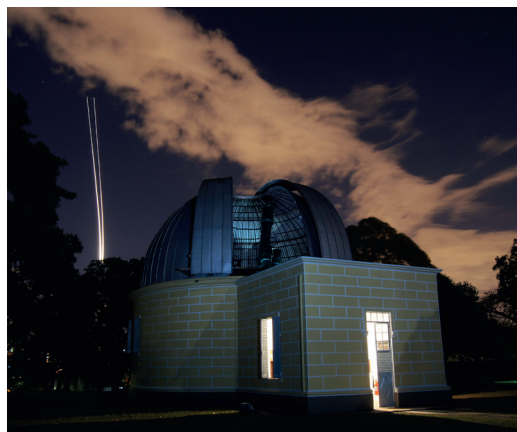
O ON preserva o seu patrimônio histórico e mantém modernas instalações de pesquisa com equipamentos de última geração que acompanham a evolução tecnológica de suas áreas. O conjunto arquitetônico, assim como o seu acervo documental e de instrumentos científicos são tombados pelo Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

A biblioteca do ON conserva obras raras de riqueza inestimável, com publicações dos séculos XVIII e XIX, além de uma coleção de documentos, fotografias e iconografias de importância histórica para a ciência brasileira.

Além da estrutura de sua sede, o ON mantém em funcionamento regular os Observatórios Magnéticos de Vassouras/RJ (1915), de Tatuoca/PA (1957) e do Pantanal/MT (2012). Também mantém em operação o Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica, instalado em Itacuruba/PE.

O Observatório Nacional tem reconhecida tradição no campo da Astronomia e Astrofísica, com destaque nas subáreas de astronomia fundamental, ciências planetárias, astrofísica estelar, astrofísica galáctica, astrofísica extragaláctica e cosmologia. A trajetória do ON acompanha a evolução teórica e instrumental da astronomia, buscando sempre a cooperação científica na fronteira do conhecimento.

Na área de geofísica, a atuação da instituição se estende às diversas especialidades, como da geofísica da Terra sólida, geofísica aplicada e ambiental, com a realização de pesquisa básica e prestação de serviços técnico-científicos. Na cooperação com o setor produtivo, para execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento, destacam-se os levantamentos na área de petróleo e gás.



Conjunto Cúpula-Luneta montado em 1922 no campus do Observatório Nacional.

Campus do Observatório Nacional com seus instrumentos científicos e a natureza do seu espaço bucólico, patrimônio histórico e cultural do país.



Designado pelo Inmetro como Laboratório Primário de Tempo e Frequência, o Observatório Nacional é responsável pela geração, distribuição e conservação da Hora Legal Brasileira (HLB), popularmente conhecida como “Horário de Brasília”.

O Observatório Nacional, por meio da sua Divisão de Atividades Educacionais, promove regularmente ações que despertem o interesse da sociedade para as ciências, utilizando elementos visuais e interativos, de forma a simplificar e esclarecer conceitos científicos. Uma de suas principais atividades são os cursos a distância, que desde 2003 tem atraído milhares de jovens e adultos de todas as classes sociais. O seu principal objetivo é socializar o conhecimento científico por meio de um veículo eletrônico que hoje é amplamente utilizado, a internet. Levar a sociedade as razões pela qual a ciência deve ser uma prioridade, esclarecendo o público de que modo o investimento governamental em ciência reverte a seu favor sob forma de cultura e tecnologia. Mostrar de que modo a ciência faz parte do nosso dia-a-dia e como a utilizamos para melhorar nossas condições de vida.

A Grande Luneta Equatorial de 46cm tem importância inegável para a Astronomia brasileira. A partir da sua instalação, em 16 de fevereiro de 1922, muitos projetos foram realizados, permitindo ao Brasil ingressar nos programas internacionais de observação de estrelas duplas visuais, planetas, asteroides, cometas, eclipses solares e lunares.

A Grande Luneta Equatorial, símbolo que representa uma importante parte da história da astronomia do Observatório Nacional.

Ao longo dos seus 93 anos, a velha Luneta viu passar por suas lentes imagens de muitos fenômenos celestes e os registrou com precisão, ajudando a preparar e formar bons observadores. Foi o seu legado. Cumpriu a sua missão.



Detalhe do conjunto de lentes da Grande Luneta Equatorial de 46cm

Conheça em detalhes as dependências do Observatório Nacional



Esta imagem é uma panorâmica da Grande Luneta Equatorial, símbolo que representa uma importante parte da história da astronomia do Observatório Nacional.



O CURSO DE ENSINO A DISTÂNCIA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL

Generalidades

Tratando-se de um curso em nível de divulgação científica, não é necessário qualquer conhecimento prévio para acompanhá-lo a distância, uma vez que ele está voltado para um público não especializado em ciências exatas. Nosso objetivo é difundir, atualizar e socializar o conhecimento científico para todos os interessados em ciências.

Devido à sua característica abrangente, durante o curso serão abordados assuntos muito básicos, o que não deve ser entendido pelos professores participantes ou por aqueles que já possuem conhecimento prévio (científico ou técnico) como um demérito à sua competência.

O compromisso deste curso é transformar um assunto científico complexo em uma linguagem simples e compreensível, mas sem abrir mão do rigor das ciências exatas, estabelecendo uma conexão entre a pesquisa científica e o público. É a oportunidade de uma instituição federal de pesquisa colocar a serviço da sociedade os conhecimentos que são produzidos por seus pesquisadores, democratizando assim o seu acesso.

Como estudar a distância

Uma das grandes vantagens de um curso à distância é permitir a cada participante definir o seu ritmo de estudo, avaliando o seu tempo disponível, programando assim a sua dedicação ao curso. Para obter o certificado, o participante terá que fazer provas durante o curso e, certamente, se esforçar bem mais que os outros participantes

O curso não tem custos

Os cursos a distância, oferecidos pelo Observatório Nacional, são inteiramente grátis. Nenhuma taxa é cobrada aos participantes. O material produzido, disponibilizado no site, pode ser copiado (download) e impresso, desde que não seja publicado em outros meios ou vendido, o que caracteriza crime de propriedade intelectual.

O participante que receber qualquer mensagem ou sugestão que indique custos, deve enviar imediatamente uma cópia para daed@on.br para tomarmos as providências cabíveis.

Duração do curso

O curso de “Cosmologia” terá duração de 05 (cinco) meses, sendo iniciado no dia 09 de março de 2015 e encerrado no dia 10 de agosto de 2015. O curso é constituído de 10 (dez) módulos, num total de 60 capítulos.

Inscrição

Neste curso teremos uma nova forma de inscrição e emissão de certificados. As inscrições serão abertas no dia 27/02/2015 e permanecerão abertas até o final do último dia de prova (10/08/2015).

Onde as aulas são apresentadas

Os assuntos das aulas são apresentados em módulos na área de “Divulgação Científica” da página do Observatório Nacional (<http://astroaprendizagem.on.br/daed/>). O curso tem carga horária equivalente ou estimada a 120 horas (não há registro do número de horas durante o acesso ao site). Não disponibilizamos qualquer material impresso, mesmo para os participantes inscritos, e não poderemos atender a qualquer solicitação de envio de imagens, animações ou vídeos.

Ensino a Distância COSMOLOGIA Da origem ao fim do universo 2015

Logotipo do curso a distância 2015.

As provas

1. As questões das provas sempre terão um conteúdo genérico. Não será exigido conhecimento de fórmulas, cálculos e gráficos. Lembre-se que este curso é de informação e divulgação científica, apesar da necessidade da apresentação de algumas equações.
2. Serão realizadas 04 (quatro) provas durante o curso.
3. As provas terão duração de 4 (quatro) dias, sempre iniciando numa Sexta-Feira às 0h e terminando na Segunda-Feira à meia-noite. Durante este período o aluno poderá consultar previamente a prova, sem precisar fazê-la.
4. Recomendamos ao aluno copiar a prova para o seu computador (download), responder as questões e depois entrar no sistema para realizar a prova. Isso diminui o risco do aluno ter sua prova enviada incorretamente por algum problema de transmissão de dados da sua rede internet.
5. A rede e o sistema de energia do Observatório Nacional são redundantes (duplicados), ou seja, o risco de falhas é bastante minimizado.
6. Também recomendamos que os alunos evitem realizar a prova no último dia, pois o sistema poderá ficar lento ao acesso à prova, aumentando assim os riscos de falhas (rede, energia elétrica, etc).
7. Quando o aluno terminar a prova, deve, obrigatoriamente, clicar nos botões CONCLUIR e ENTREGAR PROVA, para que o sistema dê por encerrado o evento com sucesso.
8. Não haverá, em hipótese alguma, segunda chamada.

IMPORTANTE: Somente no período de provas o aluno utilizará, obrigatoriamente, o LOGIN e a SENHA. Caso esses dados sejam extravaiados, o aluno poderá recuperá-los, sendo acessados pelo botão “Esqueci minha senha”.

Certificado do curso

Ao final do curso o certificado será emitido e disponibilizado na página do Observatório Nacional, sem qualquer custo. Não será emitido ou enviado certificado impresso ou declarações. A divulgação das notas e o acesso ao certificado são restritos ao aluno.

Cada módulo corresponde a 12 horas de curso. No final do curso o certificado será emitido multiplicando-se o número de módulos por prova realizada, com nota média mínima igual a 6,0(seis), por 12 horas. Assim, o aluno que tiver feito todas as quatro provas, tendo obtido a nota mínima em cada uma delas, terá um certificado de 120 horas.

ATENÇÃO: O Observatório Nacional se reserva o direito de cancelar, a qualquer momento que julgar conveniente, qualquer um dos cursos do seu programa “Ensino à Distância” sem que isto possa ser entendido como uma violação de qualquer direito dos participantes.



Imagem ilustrativa do certificado do curso a distância 2015.

Iniciaremos nosso estudo de Cosmologia voltando à pré-história. Mas, para que recuar tanto no tempo? Precisamos realmente fazer isso? É claro que não precisamos mas, devemos. Se esse fosse um curso estritamente técnico, começaríamos com a parte matemática necessária para estudar a “teoria da relatividade geral”, depois veríamos algumas de suas soluções exatas e os modelos cosmológicos. No entanto, esse é um curso de divulgação científica. Não usaremos física e matemática como ferramenta principal, mas em seu lugar tentaremos fazer um grande discurso sobre como os filósofos do passado e os cientistas do presente desenvolveram o seu conhecimento sobre o Universo.

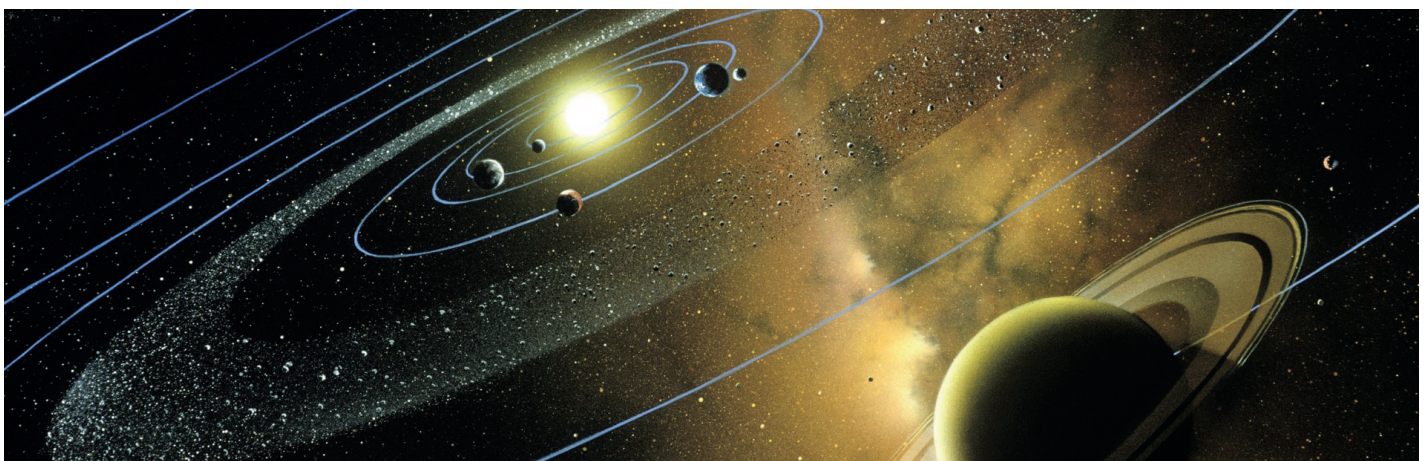
Vamos iniciar o curso de Cosmologia falando sobre o desenvolvimento de uma ideia. Uma ideia absurdamente ambiciosa: saber se, e consequentemente como, o universo se formou e quais são as leis que o governam. Nosso objetivo é apresentar os conceitos básicos sobre os quais se baseia a cosmologia moderna.

Nossa abordagem seguirá, sempre que possível, a trilha histórica deixada por aqueles que se aventuraram por esse intrincado caminho. Tentaremos mostrar como foram desenvolvidas as ideias sobre as quais a teoria cosmológica foi crescendo até chegar ao que ela é hoje.

No entanto, é preciso muito cuidado ao estudar a história da cosmologia, em particular da sua fase mais antiga. Certamente estaremos pisando num terreno minado, dominado por mitos religiosos e misticismo que nada têm a ver com a ciência moderna. O fato de alguém ter dito há milhares de anos que o universo era, por exemplo, infinito, de modo algum deve ser encarado como um conhecimento científico já estabelecido naqueles tempos remotos. Ao contrário, todas estas afirmações devem ser vistas como pura especulação.

Durante todo o primeiro módulo do curso será visto que o estudo do universo feito pelos antigos pensadores irá se limitar quase que exclusivamente à observação do Sistema Solar. Isto era motivado pelo fato de que somente a Lua, o Sol, cinco planetas e as estrelas eram os objetos celestes capazes de serem observados pelos antigos filósofos. Este era o universo observável dos povos antigos, o seu “universo local”. Ainda levaria muito tempo até que os cientistas tivessem uma visão correta (?) do Universo. Hoje sabemos que o Sistema Solar faz parte de uma galáxia, a nossa Galáxia, e que existem bilhões de galáxias em todo o Universo. Mesmo com a invenção do telescópio, ainda passariam alguns séculos até que os cientistas soubessem que a nossa Galáxia não era o Universo. Veremos a enorme disputa que essas ideias geraram em grupos rivais, aquilo que hoje chamamos de “Grande Debate”. No momento nos preocuparemos com as descrições do “universo” feitas por aqueles que há milhares de anos tiveram a ousadia de olhar para o cosmos e pensar sobre ele.

Imagem que ilustra os elementos que compõem o Sistema Solar: a estrela Sol, em torno da qual orbitam planetas, asteroides e cometas.



O SER HUMANO SURGE EM UM PEQUENO PLANETA

Sabemos hoje, graças aos trabalhos dos geólogos, que nosso planeta foi formado há cerca de 4,5 bilhões de anos a partir de uma nebulosa planetária. Inicialmente, uma massa superaquecida de matéria, sem atmosfera e que não abrigava qualquer forma de vida tal como conhecemos hoje. Com o passar do tempo, e isso significa bilhões de anos, a Terra foi lentamente se transformando. Sua temperatura foi diminuindo e uma atmosfera, inicialmente muitíssimo diferente da que hoje envolve nosso planeta, foi formada. Ainda se passariam muitos milhões de anos antes que o primeiro ser vivo surgisse nesse planeta azul. Esses primeiros habitantes eram corpos simples, unicelulares que ainda teriam muito que evoluir até chegar ao nível de complexidade que o ser humano tem hoje.

Entre 3 e 3,9 milhões de anos atrás, no período geológico chamado Plioceno, surgiu no leste da África, ao que parece, o mais antigo antepassado do ser humano: o chamado “Australopithecus afarensis”, nome que significa “macaco do sul”. Quase nada se sabe sobre ele e seus hábitos. Muito tempo ainda passaria, vários milhões de anos, até que os primeiros seres humanos surgissem no nosso planeta e iniciassem algum tipo de desenvolvimento social.

Na tabela abaixo mostramos um resumo sobre a evolução geológica da Terra e localizamos o surgimento dos seres vivos dentro de cada era. Note que a vida provavelmente começou no nosso planeta há cerca de 2 bilhões de anos, mas algo parecido com o ser humano, que chamaremos de nosso “antepassado primitivo” só surgiu em uma época que se situa entre 1 milhão e 25000 anos antes de Cristo pelo calendário moderno. O ser humano moderno irá aparecer cerca de 25000 anos antes de Cristo. Vemos então que somos muito recentes, em termos de época geológica, na superfície da Terra. Considerando que a ciência se desenvolveu há muito menos tempo que isso, somente nos últimos 10 séculos (isso se formos bem generosos com o significado da palavra “ciência”) certamente ficamos surpreendidos com o enorme salto intelectual dado pelo ser humano.



Imagem obtida pelo Telescópio Espacial Hubble da Nebulosa de Carina, situada na constelação austral de Carina, a 7500 anos-luz do Sistema Solar. Uma região incubadora de nascimento de estrelas.

A HISTÓRIA GEOLÓGICA DA TERRA E A EVOLUÇÃO DA VIDA NO NOSSO PLANETA

PERÍODO PALEONTOLÓGICO	ÉPOCA	PERÍODO GEOLÓGICO	FORMAS CARACTERÍSTICAS DE VIDA	PERÍODO CULTURAL	PROGRESSOS
Arqueozóico	2 bilhões de anos	Arqueano	ausência de vestígios definidos; prováveis formas unicelulares	-	-
Proterozóico	1 bilhão de anos	Pré-cambriano	só invertebrados; vermes e algas	-	-
Paleozóico	500 milhões de anos	Cambriano	moluscos, esponjas	-	-
		Ordoviciano	insetos, primeiros vertebrados	-	-
		Siluriano	corais, tubarões, algas marinhas	-	-
		Devoniano	peixes pulmonares, crustáceos	-	-
		Carbonífero	primeiros anfíbios	-	-
		Permiano	grandes anfíbios, fetos	-	-

Mesozóico	300 milhões de anos	Triássico	répteis gigantescos	-	-
		Jurássico	répteis diversificados, aves	-	-
		Cretáceo	marsupiais, peixes ósseos, aves, árvores	-	-
Cenozóico	50 milhões de anos	Eoceno	mamíferos primitivos; primeiros primatas	-	-
		Oligoceno	símios primitivos, antepassados dos macacos; roedores, camelos	-	-
		Mioceno	antepassados dos grandes símios, árvores de folhagem caduca	-	-
		Plioceno	antepassados do ser humano (<i>Australopithecus afarensis</i>), mamíferos modernos	-	-
		Pleistoceno (Período Glaciário) 1 milhão a 25000 a.C.	espécies humanas primitivas (<i>Pithecanthropus erectus</i> , <i>Sinanthropus pekinensis</i> , <i>Homo Neanderthalensis</i> , etc.), outros primatas	paleolítico inferior	linguagem falada, conhecimento do fogo, sepultamento dos mortos, armas e utensílios de pedra
				paleolítico superior	agulhas, arpões, anzóis, magia, arte, organização social
				neolítico	agricultura, domesticação de animais, navegação, instituições
ser humano "civilizado"	bronze, ferro, escrita, arte, tecnologia, ciência, literatura				
Holoceno ou recente 25000 a.C.	animais e raças humanas atuais (homem de Cro-Magnon, etc.)				

AS CIVILIZAÇÕES MAIS PRIMITIVAS E SUAS COSMOLOGIAS

Em geral os historiadores dividem a história da humanidade em dois grandes períodos: a Idade da Pedra e a Idade dos Metais. A Idade da Pedra é aquela anterior à invenção da escrita. Por esse motivo ela também é, às vezes chamada de Idade Pré-literária. A Idade dos Metais é a história das nações que se auto-proclamam civilizadas.

A IDADE DA PEDRA

A Idade da Pedra cobre pelo menos 95% da história da existência do ser humano. Ela só irá terminar nas proximidades do ano 3000 antes de Cristo.

Esta Idade se subdivide em **era Paleolítica**, ou antiga idade da pedra, e **era Neolítica**, a nova idade da pedra. Chamamos a “era Paleolítica” de “idade da pedra lascada” enquanto que a “era Neolítica” é chamada de “idade da pedra polida”. Como podemos ver, cada uma dessas eras é caracterizada pela maneira como as armas e utensílios de pedra eram fabricados pelos povos que nelas existiram.

ERA PALEOLÍTICA

É preciso ter sempre em mente que o começo e o fim do intervalo de tempo que caracterizam essas divisões são aproximados e varia muito com os autores. Para alguns cientistas o período Paleolítico vai de 500000 a 10000 antes de Cristo. O Paleolítico Inferior, que cobre cerca de 75% da duração global desta era, foi a época em que surgiram as quatro primeiras espécies humanas na superfície da Terra (aqui citadas não em ordem de descoberta mas sim do seu aparecimento na Terra):



Osso de lobo usado na era Paleolítica como instrumento de registro.

- o homem de Java (*Pithecanthropus erectus*)
Esse nome significa “homem-macaco em pé”. Foi descoberto na ilha de Java, Indonésia, no ano 1891.
- o homem de Pequim (*Sinanthropus pekinenses*)
Encontrado a cerca de sete quilômetros a sudoeste de Beijing entre 1926 e 1930.
- o homem de Fontéchevade
- Seus restos foram encontrados em 1947 no departamento de Charente, sudoeste da França.
- o homem de Neanderthal (*Homo neanderthalensis*)
Este é o famoso “troglodita” ou “homem das cavernas”. Seus restos foram encontrados pela primeira vez no vale do Neander, perto de Düsseldorf, noroeste da Alemanha, em 1856.

Segundo alguns cientistas o Paleolítico Inferior vai até cerca de 30000 ou 25000 antes de Cristo. Sabemos muito pouco sobre a cultura, as habilidades e a ciência dos seres que existiram nessa época. Suas habilidades e sua ciência adquirida devem ter sido ínfimas, mesmo se confrontadas com as dos povos primitivos que habitam o nosso planeta hoje em dia. Apesar disso, descobertas feitas por antropólogos mostram que não podemos considerar o *Pithecanthropus* e seus sucessores como simples macacos.

De 30000 a.C até 10000 a.C. temos o chamado Paleolítico Superior. Nesta época surge o homem de Cro-Magnon que desenvolveu uma cultura bastante superior à dos seus antepassados. Estes homens já usam roupas e criam artefatos mais elaborados como agulhas, anzóis, arpões, etc.

No Paleolítico Superior os homens de Cro-Magnon ainda não construíam casas. Eles habitavam cavernas e a vida grupal tornou-se mais regular e organizada do que antes. O homem de Cro-Magnon desenvolveu a arte da pintura, a escultura, o entalhe e a gravação. Ele também desenvolveu o mito, apresentando ideias muito evoluídas sobre um mundo de forças invisíveis que passaria a reger todos os momentos de sua vida. Também foram eles que desenvolveram as primeiras notações numéricas da história da humanidade. Eles faziam isso na forma de entalhes sobre ossos e, possivelmente, estas contagens estavam relacionadas com animais abatidos durante a caça.

ERA NEOLÍTICA

O último estágio da Idade da Pedra é conhecido com período Neolítico. É muito difícil fixar datas para o período Neolítico. Sua cultura não se estabeleceu solidamente na Europa antes de cerca de 3000 a.C. No entanto, há provas da existência desse período no Egito já no ano 5000 a.C. e não muito mais tarde que isso no sudoeste da Ásia. O fim dessa era também é difícil de precisar. No Egito ele foi superado um pouco depois do ano 4000 a.C. mas não desapareceu em parte alguma da Europa (exceto na ilha de Creta) antes do ano 2000 a.C. e muito mais tarde ainda na Europa setentrional. Curiosamente em certas regiões da Terra ainda existem populações vivendo no período neolítico. Nas selvas do nosso país ainda encontramos povos indígenas vivendo com uma cultura neolítica exceto por alguns costumes que acabam adquirindo de exploradores e missionários que deformam substancialmente suas culturas.

Na era Neolítica as pessoas começaram a abandonar a vida nômade e a se agrupar em pequenas comunidades agrícolas formando, eventualmente, cidades. O ser humano neolítico é produtor de alimentos e domestica animais.

A expansão da cultura megalítica na Europa, período entre 6000 a.C. e 5000 a.C.



Como consequência deste agrupamento de pessoas ocorreu naturalmente, em várias regiões, o desenvolvimento de muitas atividades diferentes, em particular aquelas associadas com a arte. A necessidade de habitações permanentes exigiu móveis e utensílios, o que desenvolveu a arte na madeira e a cerâmica. Além disso, as cidades (ou o que parecia ser uma cidade naquela época) trouxeram a necessidade de localizações fixas para deuses e deusas, o que levou alguns destes povos a construírem templos e objetos religiosos. A religião passou a exigir lugares sagrados para os mortos, com a consequente fabricação de túmulos, ossários e urnas.

O ser humano do Neolítico inventou os primeiros barcos e jangadas e desse modo espalhou-se por todo o mundo atingindo até mesmo ilhas tão remotas como o arquipélago do Havaí.

Nesta época também houve o desenvolvimento da religião. Na verdade ela era mais rito do que crença. Como o ser humano primitivo dependia totalmente da natureza, da sucessão regular das estações do ano, da queda de chuvas nas ocasiões apropriadas, do crescimento das plantas e da reprodução dos animais, ele acreditava que esses fenômenos naturais só ocorreriam se ele cumprisse certos sacrifícios e ritos.

No entanto, também estava muito presente na religião primitiva o medo. Os seres humanos pré-históricos viviam em um estado constante de alarme e terror. Eles temiam não só a doença e a morte mas também a fome, a seca, as

tempestades, os espíritos dos mortos e até mesmo os espíritos dos animais que eles haviam matado para se alimentar. Como no seu imaginário toda desgraça era precursora de outras desgraças, o ser humano primitivo acreditava que só conseguiria quebrar este ciclo nefasto se a má influência causadora destes males fosse apaziguada ou aniquilada. E só havia um meio para isso: os feitiços.

A IDADE DO BRONZE

À era Neolítica seguiu-se a chamada **Idade do Bronze**, o período entre 2200 a 800 a.C. A Idade do Bronze é geralmente marcada pelo uso cada vez maior de metais substituindo as ferramentas de pedra e um aumento na fixação dos seres humanos, frequentemente com sítios marcados por grandes geoglifos (nome dado a desenhos feitos nas paisagens em épocas antigas, por várias sociedades e em várias partes do mundo) e estruturas megalíticas, como Stonehenge.



Stonehenge é um alinhamento megalítico da Idade do Bronze, localizado no Sul da Inglaterra. O início de sua construção foi em 2600 a.C.

Chamamos de estruturas megalíticas as construções feitas por estes povos em que há a presença de megalitos. A palavra “megalito” significa “grande pedra” em grego. Algumas vezes ela é usada, erroneamente, para descrever os monumentos megalíticos.

Os monumentos megalíticos possuem formas gerais variadas mas em todos eles é característica a presença de enormes blocos de pedra, dispostos às vezes em forma circular, outras vezes simplesmente alinhados. Em algumas destas construções é notada a presença de um enorme monolito, chamado “Menhir”, uma pedra isolada que domina a região. Na Bretanha, França, foi encontrado o Grand Menhir Brisée de Locmariaquer, que tinha 20 metros de altura e pesava 350 toneladas. Atualmente ele está tombado e quebrado em 4 pedaços (imagem a seguir).

Existem muitas estruturas megalíticas espalhadas por todo o mundo. Elas são encontradas na Inglaterra, Irlanda, País de Gales, Escócia, Suécia, França, Itália, Romênia, Rússia, nas Américas, na Nova Zelândia e em muitos outros países. Um local que apresenta uma grande concentração de megalitos é a Bretanha, na França. No entanto, é impossível ter um mapa completo dos megalitos que foram construídos no mundo por que muitos foram destruídos pelas populações locais como, por exemplo, os milhares de megalitos que existiam no norte da Alemanha.

Sabemos muito pouco sobre a cultura dos povos que construíram estes megalitos. Como não haviam inscrições neles também desconhecemos suas línguas, religiões, costumes ou mitos. Até recentemente os historiadores associavam a construção dos megalitos ao chamado “povo Beaker”, um povo

do final da idade da pedra que habitou a Europa por volta do ano 2200 a.C. Acredita-se que este povo, e não os Celtas como comumente é dito, construiu parcialmente o segundo estágio de um dos grandes monumentos megalíticos que conhecemos: Stonehenge. Note que a época em que o povo Beaker existiu é muito anterior à cultura Celta!

Entretanto, pesquisas mais recentes revelaram que os megalitos existentes na Bretanha têm, na verdade, uma origem muito mais antiga. Nesta região foram encontrados alguns megalitos que datam de cerca de 4600 a.C., bem dentro da idade pré-histórica!

No entanto, é muito importante que se tenha em mente que nem todas estas estruturas megalíticas têm relação com a astronomia.

A RELIGIÃO DO SER HUMANO NEOLÍTICO

Uma das principais instituições desenvolvida em sua forma mais complexa pelo ser humano do período neolítico foi a religião em suas numerosas variedades. Os antropólogos modernos destacam o fato de que a religião primitiva não era uma questão de crença e nem de ritos. Na maioria dos casos, os ritos vieram em primeiro lugar. Os mitos, dogmas e teologias foram racionalizações criadas posteriormente. O ser humano primitivo dependia inteiramente da natureza ou seja, da sucessão regular das estações do ano, da queda de chuvas nas ocasiões apropriadas, do crescimento das plantas e da reprodução dos animais.

Para esse ser humano primitivo, esses fenômenos naturais não ocorreriam a não ser que ele cumprisse certos sacrifícios e ritos. Deste modo, o ser humano primitivo criou cerimônias destinadas, por exemplo, a fazer chover: nelas ele borrifava água sobre espigas de milho para imitar a precipitação da chuva. Para eles existia a vaga noção de que, imitando o comportamento de um determinado animal, ele contribuía para garantir a sobrevivência dessa espécie. Assim, muitas vezes toda uma aldeia vestia peles de algum tipo de animal do qual eles dependiam para a obtenção de alimento e imitavam seus hábitos, o que garantia que os animais não desapareceriam. Um outro elemento importante na religião primitiva era o medo. Os seres humanos primitivos viviam num estado constante de terror e tudo que acontecia de estranho ou mal conhecido representava perigo. Imagine o que se passava na mente de um deles ao ver um eclipse solar ou um cometa no céu!

Segundo os antropólogos, a maioria dos seres humanos do período neolítico achavam-se num estágio pré-lógico. Eles não faziam distinção entre objetos animados e inanimados, nem entre o natural e o sobrenatural. Eles nem mesmo eram capazes de pensar em termos de “milagres” pois, para eles, nada era impossível ou absurdo. Do mesmo modo, não existiam acidentes casuais, pois tudo que acontecia tinha um significado místico. Assim, os seres humanos primitivos não aceitavam o conceito de “morte natural” e não tinham qualquer noção do processo de geração e de nascimento. Para eles não havia qualquer relação entre sexo e reprodução.

A primeira revolução intelectual na história da humanidade foi, provavelmente, a passagem das várias religiões primitivas para o pensamento religioso que repousa sobre a crença em deuses benévolos e uma explicação filosófica do Universo. Ninguém sabe como se realizou essa transição

A COSMOLOGIA NEOLÍTICA

A cosmologia é tão velha quanto a própria humanidade. A cosmologia mais primitiva que conhecemos, criada pelos povos que viveram na era neolítica,



Megalito do Grand Menhir Brisée de Locmariaquer, Bretanha, França.

era, como não podia deixar de ser, extremamente local. Para esses povos o universo era aquilo com que eles interagiam de modo imediato. Para eles o universo, ou seja, as coisas cosmológicas, era o clima, os terremotos, os vulcões, e as fortes mudanças que ocorriam ao longo do ano no meio ambiente que os cercava. Todas as outras coisas que ocorriam fora da vida diária comum desses povos eram interpretadas como sendo sobrenaturais. Esse é o motivo pelo qual muitos historiadores dão à cosmologia desenvolvida por esses povos o nome de “**Cosmologia Mágica**”.



Construção megalítica que, de alguma forma, estava relacionada a obtenção de dados astronômicos.

Os povos primitivos projetaram seus próprios sentimentos e pensamentos internos dentro de um mundo animístico externo, um mundo onde todas as coisas tinham vida. Por meio de preces, sacrifícios e presentes aos espíritos, os seres humanos ganhavam controle dos fenômenos que ocorriam no seu mundo. Essa é uma visão do mundo mágica e antropomórfica, de uma terra, água, vento e fogo vivos, nos quais os homens e mulheres projetaram suas próprias emoções e motivos como sendo as forças que os guiavam, o tipo de mundo que encontramos nas fantasias e contos de fadas.

Já vimos que mais tarde a humanidade começou a se organizar e desenvolver o que agora chamamos de sociedade. Um sentido maior de estabilidade em sua existência diária conduziu ao desenvolvimento de mitos mais elaborados, em particular mitos de criação cujo objetivo era explicar a origem do universo.

Vários desses mitos ainda mantiveram temas sobrenaturais mas havia, entretanto, uma pequena consistência lógica interna em várias dessas histórias. Os mitos frequentemente tentam uma explicação racional do mundo diário. Mesmo se considerarmos algumas dessas histórias como sendo tolices elas foram, em algum sentido, nossas primeiras “teorias científicas”. Essa época é chamada pelos historiadores de “**Cosmologia Mítica**”.

O Universo conhecido por estes povos era somente aquele visível. Eles não conseguiam explicar a ocorrência de fenômenos casuais tais como a aparição de um cometa ou um eclipse. Esses fenômenos eram observados por eles com pavor e os levaram à elaboração de muitos mitos associados à astronomia. Ao mesmo tempo, a necessidade de saber quando semear e quando colher, o que garantia a subsistência desses povos, fez com que eles passassem a olhar com mais atenção para o seu universo local. Isso pode ser comprovado pelas várias construções megalíticas que sobreviveram até os dias de hoje e que estão, de alguma forma, relacionadas com a obtenção de dados astronômicos.

No entanto, existe uma questão bem mais profunda em relação a essas observações astronômicas: embora vários megalitos tenham sido, certamente, erigidos para assinalar momentos astronômicos específicos, como o solstício por exemplo, até que nível fatos astronômicos poderiam ser *compreendidos* pelas pessoas que viviam na época em que essas grandes pedras foram erigidas?

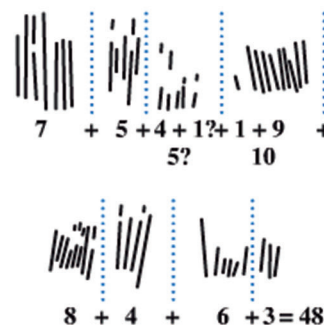
O fato mais importante a notar é que na época em que os megalitos foram construídos, as pessoas não conheciam a escrita. Deste modo, a pergunta fundamental passa a ser:

“Que astronomia é possível fazer sem conhecer a escrita?”

Certamente o não conhecimento da escrita coloca fortes limites sobre o conhecimento astronômico. Basta lembrar que sem ela fica muito mais difícil (mas não impossível) realizar uma das tarefas mais elementares (e importantes) da astronomia: o registro de ocorrências astronômicas.

Na verdade, alguns fatos astronômicos diários podem ser registrados sem que seja necessária a intervenção da escrita. Por exemplo, existem

evidências de que alguns povos primitivos observavam cuidadosamente as fases da Lua e registravam isto fazendo entalhes em uma vara de madeira ou arranhões em um osso. A imagem abaixo mostra o mais antigo objeto com registro matemático conhecido. Veja que os entalhes marcam valores numéricos.



Este mesmo processo de registro tornou possível que vários povos, sem terem o domínio da escrita, pudessem contar o número de dias em um ano. Qualquer povo primitivo podia encontrar as direções do nascimento e do ocaso das estrelas, ou então as direções do nascimento e do ocaso do Sol e da Lua, mais ao norte e mais ao sul, sem necessitar escrever. A prova de que isso era feito está nas várias grandes construções megalíticas que conhecemos tais como Stonehenge, na Inglaterra.

Podemos dizer que tão logo os grupos sociais primitivos desenvolveram a linguagem foi preciso apenas um pequeno passo para que eles fizessem suas primeiras tentativas para *compreender* o mundo que existia em torno deles. Enquanto isso, como já dissemos, sua cosmologia era alimentada pelos mitos de criação do universo, na verdade mitos que envolviam somente aquilo que eles podiam presenciar no seu dia-a-dia como, por exemplo, o surgimento e desaparecimento diário de uma bola de fogo brilhante, e o medo de que ela não aparecesse no dia seguinte.

Havia também um grande objeto brilhante que assumia várias formas no céu, às vezes sendo redondo mas mudando sua forma até desaparecer. Seria o mesmo objeto sempre ou seriam vários? Este estranho objeto também era capaz de aparecer durante o dia e às vezes desaparecer por completo. As cores do céu e o seu estranho salpicado de pontos luminosos que piscavam quando tudo estava escuro mas não apareciam quando estava tudo claro. Explicar isso era muito difícil. Melhor acreditar que alguém os criou.

AS PRIMEIRAS TENTATIVAS DE COMPREENDER O UNIVERSO

Faremos agora uma pequena descrição do pensamento cosmológico de povos antigos (não pré-históricos). Esse é o tema da chamada arqueoastronomia, a parte da astronomia que estuda como os povos da antiguidade registravam e interpretavam fenômenos celestes e como elas descreviam o cosmos. Essa área, embora de grande riqueza cultural, é interdisciplinar e exige, além de grande conhecimento de astronomia de posição, competência em história antiga, antropologia, arqueologia e sociologia. Tal como a astrobiologia (que procura vida em outros planetas), a arqueoastronomia, quando tratada com seriedade, é uma belíssima e importante parte da ciência.

Os ossos de Ishango foram encontrados na região que correspondia ao Zaire, atual República Democrática do Congo.

MESOPOTÂMIA

O que era a Mesopotâmia

A mesopotâmia não foi um império ou um país. Ao invés disso, a mesopotâmia era uma área geográfica na qual pessoas, com as mais variadas origens, se instalaram e, eventualmente, organizaram estados-cidades, que mais tarde se transformaram em poderosos impérios. Vários destes estados-cidades primordiais mesopotâmios foram fundados muito antes que as mais antigas comunidades políticas egípcias (que são ainda mais antigas que qualquer “civilização” européia).



Região da Mesopotâmia, formada pelos impérios Sumério, Babilônico, Caldeus e Assírio.

A palavra Mesopotâmia, de origem grega, significa “a terra entre os rios”, e este foi o nome dado por Políbio e Estrabão às terras muito planas que estavam situadas entre os dois rios que fluem através delas, os rios Tigre e Eufrates. Estes rios correm de Anatólia e Síria até o golfo Pérsico.

A região da Mesopotâmia era limitada ao norte pelas montanhas do Curdistão. O limite oeste eram as estepes e os desertos da Síria e da Arábia e a leste estava a cadeia de montanhas Zagros, no atual Irã. A fronteira ao sul eram os pântanos do delta do rio.

Ao longo dos rios Tigre e Eufrates muitas grandes cidades comerciais se formaram, entre elas Ur e Babilônia às margens do rio Eufrates. A região que era chamada de Mesopotâmia está situada, aproximadamente, na mesma região geográfica ocupada hoje pelo Iraque.

Os impérios formados pelos sumérios, babilônios, caldeus e assírios se estenderam por toda a região conhecida como Mesopotâmia.

SUMÉRIA

Quem eram os Sumérios

Os sumérios eram membros de um povo que estabeleceu uma civilização na Suméria, região que fica no baixo vale do rio Eufrates, região sul da Babilônia. Eles vieram de muitos lugares. Alguns deles vieram das terras de Akkad,

o que faz com que suas origens estejam ligadas a tribos semíticas que viveram no quarto milênio a.C. Outras tribos se fixaram em Eridu, próximo ao rio Eufrates no sul da Mesopotâmia, povos estes com uma origem ainda mais antiga.

Os sumérios também se fixaram em Ur, uma região que prosperou até quase o tempo de Homero, e também em Lagash, uma cidade que escavações arqueológicas revelaram ser um dos mais criativos meios ambiente daqueles tempos antigos e que prosperou até aproximadamente a mesma época da queda do Velho Reinado egípcio, por volta de 2500 a.C. Claro que estas cidades não existem mais e só são lembradas pelos que estudam a Bíblia ou pelos professores e estudantes de história. O importante é saber que, inicialmente, a maioria das pessoas que habitaram os vários estados-cidades estabelecidos na Mesopotâmia eram Sumérios (ou Sumerianos).

Os sumerianos fizeram florescer uma brilhante civilização durante o quarto milênio antes de Cristo. Este povo desapareceu no segundo milênio antes de Cristo, não sem antes transmitir aos assírios os principais elementos de sua arte e de sua mitologia.

BABILÔNIA

Quem eram os Babilônios

Como vemos no mapa anterior, a Babilônia estava situada na região conhecida como Mesopotâmia.

A história dos babilônios é tão misturada com a dos sumérios e caldeus que fica difícil separar o passado de cada um destes povos.

Os historiadores têm dúvidas quanto à extensão da história dos babilônios. Alguns consideram que ela se estende até o quarto milênio a.C. enquanto que outros a traçam somente até o século 18 a.C. quando Hamurabi estabeleceu a primeira dinastia babilônica.

A escrita dos Babilônios

Muito do sistema educacional dos babilônios têm fortes ligações com a cultura suméria. Sua escrita e sua ciência, em particular a astronomia e a astrologia, teve suas origens na ciência desenvolvida pelos sumérios.

Os estudiosos babilônicos eram sacerdotes e/ou profetas. Deste modo, apenas uns poucos tinham acesso à educação.

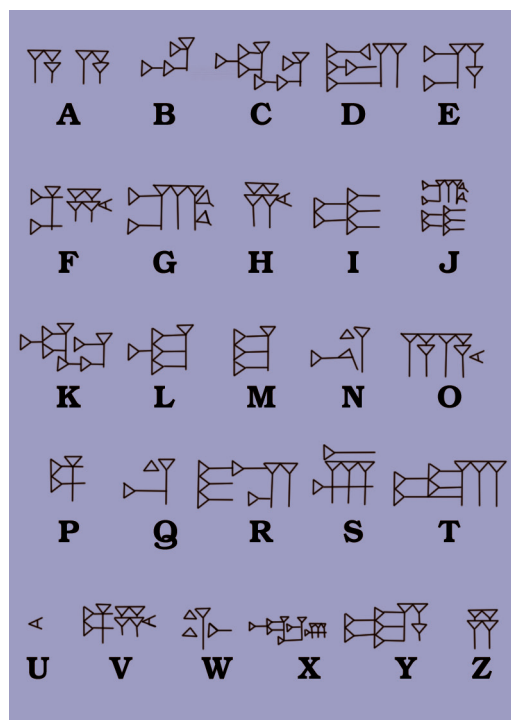
A astronomia babilônica não foi exceção. Ela foi deixada nas mãos de uns poucos cidadãos educados que serviam como escribas e eram capazes de usar e compreender o sistema de escrita que havia sido transmitido aos babilônios pelos sumérios. Este sistema de escrita, que usava símbolos em forma de cunha ao invés de caracteres alfanuméricos, é chamado de *cuneiforme* e é o mais antigo sistema de escrita conhecido.

Note que existiram vários sistemas cuneiformes na região da Mesopotâmia. Exemplos desses alfabetos são mostrados na imagem ao lado.

Com o passar dos séculos ao longo da época antiga os símbolos cuneiformes sofreram uma evolução gráfica muito grande até chegarem à sua forma definitiva adquirindo não somente novos significados mas também tendo o seu desenho drasticamente alterado. Nas suas formas mais antigas, os símbolos cuneiformes identificavam principalmente objetos físicos. Mais tarde os babilônios adicionaram novos símbolos que representavam ideias abstratas.

A matemática dos Babilônios

A matemática dos Babilônios não seria estranha para aqueles que estão acostumados com os sistemas binário (sistemas de base 2) e hexadecimal (sistemas de base 16) exigidos pela computação moderna. Ela não estava baseada no



Antigo sistema de escrita chamada cuneiforme, utilizado pelos babilônios.

Silabário					
	a		ja		na
	i		ji		ni
	u		tu		pu
	ka		ku		fa
	ke		be		ba
	xa		sa		ma
	ga		da		mi
	gu		di		mu
	ca		du		ya

Ideogramas	
	XŠ = xšāyapīya (rei)
	DH = dahyānuš (país)
	BG = baqa (Deus)
	BU = būmīš (Terra)
	AM = Auru-mazdā
	AMha

Divisores de palavras	



Sistema de contagem e representação simbólica utilizado pelos babilônios.

sistema decimal que usamos comumente, segundo o qual contamos todas as coisas usando potências de 10 ou seja, usando 10 dígitos de zero a nove para representar as unidades, e as notações posicionais de dezenas, centenas, milhares para representar as potências de 10.

Os babilônios usavam um sistema de contagem de base 60. Isto os levou a dividir o círculo em 360 graus. Eles também dividiram a hora em intervalos usando sua medida sexagesimal. Esta é a razão pela qual existem 60 segundos em um minuto e 60 minutos em uma hora.

Os babilônios mostraram ser muito hábeis nas artes dos cálculos e distinguiram-se na manipulação aritmética e na representação simbólica.

Foram eles que inventaram as tabelas de multiplicação e estabeleceram as regras da aritmética.

A cosmologia na Mesopotâmia

Há quatro mil anos os babilônios eram bastante versados em astronomia. A astronomia babilônica é notada pelos seus registros, contínuos e detalhados, de fenômenos astronômicos tais como eclipses, posições dos planetas e nascimento e ocaso da Lua. Alguns destes registros foram feitos em 800 a.C. e são os mais antigos documentos científicos existentes.

O propósito desta atividade era claramente astrológico com o objetivo de prever a prosperidade do país assim como a do seu rei.

Além de registros os astrônomos babilônios também desenvolveram várias ferramentas aritméticas que, aplicadas às suas tabelas de dados, os permitiam prever os movimentos aparentes da Lua, das estrelas, dos planetas e do Sol no céu. Eles podiam até mesmo prever eclipses.

Entretanto, embora sua preservação de registros fosse uma tecnologia nova para a época e seu sistema de nomes estelares e sistema de medição fosse passado para civilizações posteriores, os babilônios nunca desenvolveram um modelo cosmológico para nele interpretar suas observações. Os astrônomos gregos alcançariam este objetivo usando os dados dos babilônios.

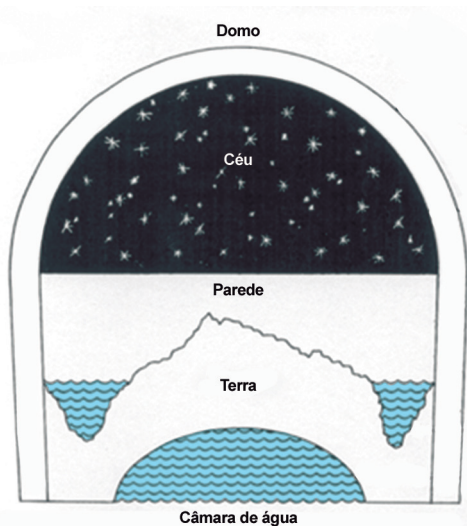
Apesar disso, a cosmologia na Mesopotâmia era muito mais sofisticada do que, por exemplo, a do Egito. Os babilônios acreditavam em um universo de seis níveis com três firmamentos e três terras: dois firmamentos acima do céu, o firmamento das estrelas, a terra, o submundo do Apsu, e o submundo dos mortos.

Era assim que os babilônios imaginavam o Universo. A Terra era um enorme plano que tinha uma forma circular. Ela repousava sobre uma câmara de água, um rio que a circunda totalmente. Em volta da Terra havia uma parede que sustentava uma cúpula onde todos os corpos celestes estavam localizados.

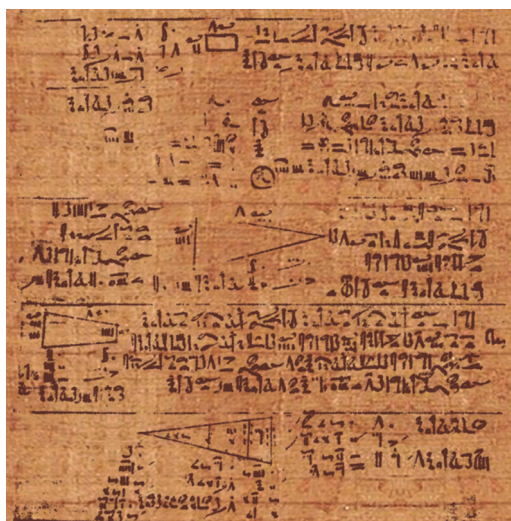
A Terra foi criada pelo deus Marduk como uma jangada que flutua sobre o Apsu. Os deuses estavam divididos em dois panteões, um ocupando os firmamentos e o outro no submundo.

A cosmologia no Egito

As dinastias que floresceram no antigo Egito foram contemporâneas dos povos que habitaram a mesopotâmia. Dentre outros aspectos, eles também desenvolveram uma cultura prática, destacando-se na arte, literatura, arquitetura e em algumas ciências, como medicina e matemática. Uma das principais fontes de informação sobre a matemática é o “papiro Rhind” (imagem à esquerda). Ele foi feito por volta do ano 1650 a.C., mas seu autor, o escriba Ahmes, copiou-o de um documento ainda mais antigo, (de 1800 a.C.). O papiro Rhind consiste de uma tabela de números $1/n$, onde $n = 3, 5, 7, \dots, 101$. Além disso, inclui dezenas de exercícios matemáticos acompanhados de soluções. Também é atribuída aos egípcios a invenção do “cúbito”, uma “medida padrão de comprimento”, em sua cultura antiga. Sem isso talvez suas grandes edificações não seriam possíveis.



O Universo visto pelos babilônios.



Antigo papiro egípcio com cálculos matemáticos.

Os egípcios não demonstraram muito interesse pela astronomia. Ao contrário dos babilônios, não deixaram registros importantes de posições planetárias, eclipses ou outros fenômenos. Uma evidência dessa falta de interesse é o fato de que um “catálogo do universo”, elaborado por volta de 1100 a.C., lista apenas cinco constelações. Duas delas são Orion e Ursa Major, mas não menciona Sírius ou qualquer outra.

A astronomia só aparece melhor registrada em um documento datado de 300 a.C. Isso é “muito tarde” na história do antigo Egito. A primeira dinastia começou aproximadamente em 3100 a.C. e essa fase da história egípcia terminou em 332 a.C., quando Alexandre conquistou toda a região. Um documento astronômico está gravado na base da estátua de um homem chamado Harkhebi, que afirmou ter constatado “tudo observável no céu e na Terra”.

O desenvolvimento da cosmologia seguiu linhas práticas. Os egípcios tinham pouca ideia da extensão e estrutura do universo. Sua cosmologia, tal como a dos babilônios, refletia crenças religiosas.

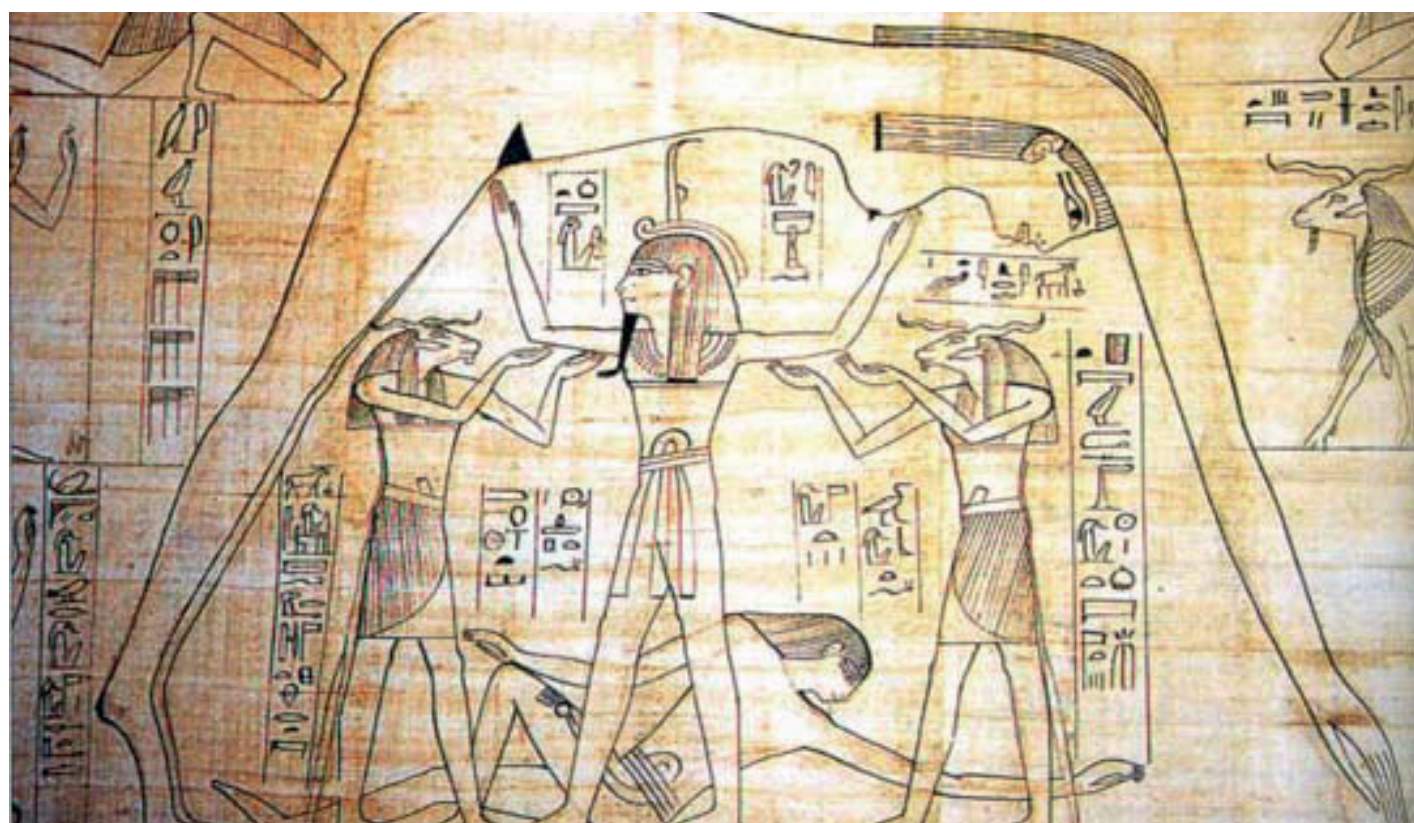
Os conceitos sobre o céu noturno foram formulados em vários mitos que mais tarde se tornaram parte central da religião. As principais divindades eram os corpos celestes. Um grande esforço foi feito pelos religiosos para prever o momento e o local do aparecimento de seus deuses. Foram essas habilidades que levaram a divisão do dia e da noite em 12 seções cada um, o desenvolvimento de dois calendários, um lunar e um solar. O solar tinha 12 meses, cada um com 30 dias, além de 5 dias “especiais”, totalizando 365 dias.

O deus Sol, denominado Ra, era o mais importante. Portanto, o movimento solar anual foi uma observação astronômica fundamental na cosmologia egípcia. A determinação dos solstícios e equinócios possuía grande relevância. Uma lenda relata que a deusa do céu, Nut, gera Ra uma vez por ano, sucessivamente. Nut é representada como uma mulher nua que se estica através do céu. O Sol (deus Ra) é mostrado entrando em sua boca, passando através de seu corpo salpicado de estrelas e saindo pelo “canal de nascimento”, nove meses mais tarde (período compreendido entre o equinócio da primavera e o solstício de inverno no hemisfério norte). Ra é um deus que simboliza um universo eterno.

	Lendo da direita para a esquerda					Lendo da esquerda para a direita				
1										
10	∩					∩				
100	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩
1000	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩
10,000	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩
100,000	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩
1,000,000	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩

Sistema numérico utilizado pelos egípcios.

Imagem extraída do livro dos mortos, datado do século 10 a.C., mostra a deusa Nut com o seu corpo suspenso por Shu, deus do ar. O deus da terra, Geb, reclinase a seus pés.



A COSMOLOGIA DOS EGÍPCIOS

NUN	oceano primordial que representa um universo de caos	<ul style="list-style-type: none"> • oceano infinito que continha os constituintes básicos de tudo que existiria eternamente • para os egípcios a água era o elemento básico da vida
RA	deus Sol	<ul style="list-style-type: none"> • existia dentro de Nun e permaneceu em repouso até o momento em que desejou viver • a partir dele veio o ar que sustenta o céu e o orvalho e a chuva que umedece a Terra • de suas lágrimas foram criados os homens e as mulheres
SHU	deus do ar	<ul style="list-style-type: none"> • nascido de Ra • sustenta o céu
TEFNUT	deusa do orvalho e da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • filha de Ra • deu à luz Geb (Terra) e Nut (Céu) • entretanto, Geb e Nut casaram sem a aprovação de Ra. Então ele ordena que Shu separe a Terra e o Céu para sempre
OSIRIS	deus da natureza e da vegetação	<ul style="list-style-type: none"> • primeiro filho de Geb e Nut • a terra deve sua fertilidade a ele

No período denominado velho reinado, o entusiasmo astronômico-religioso dos faraós chega ao ápice com a construção das pirâmides de Gizé. Elas também simbolizavam um caminho para os deuses, sendo orientadas para as estrelas circumpolares do norte.

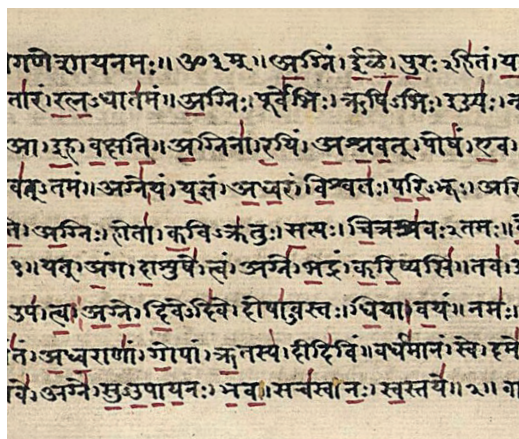
A COSMOLOGIA NA ÁSIA

Existia (a ainda existe) um certo desejo entre historiadores eurocêntricos em retroceder a ciência e filosofia antigas somente até os gregos. Com isso esses importantes pilares do conhecimento humano, a ciência e a filosofia, aparecem como algo totalmente criado no ocidente. Deste modo a pré-história asiática das ciências ocidentais, em particular a base asiática sobre a qual se apóia uma parte da ciência e filosofia gregas, é absolutamente ignorada. Mais recentemente começou a haver um reconhecimento, com uma certa má vontade, de que os Babilônios e os Egípcios podem ter contribuído para o desenvolvimento das ideias científicas e filosóficas dos gregos.

A COSMOLOGIA NA ÍNDIA

A literatura dos Vedas e a arqueologia indianas nos fornecem bastante evidências relacionadas com o desenvolvimento da ciência pelos povos que habitavam este país. Segundo alguns arqueólogos, existem registros que nos permitem acompanhar estes desenvolvimentos recuando no tempo até o ano 8000 a.C.

A mais antiga fonte textual destas narrativas históricas está no Rig Veda, o livro sagrado dos Hindus, que é uma compilação de material muito mais antigo. A descoberta de que Sarasvati, o importante rio da época Rig Vedica, ficou seco por volta do ano 1900 a.C. devido a movimentos tectônicos, fortalece a ideia de que os hinos do Rig Veda recordam eventos anteriores a esta época. De acordo com a história tradicional o Rig Veda é anterior a 3100 a.C.



Detalhe do livro sagrado dos Hindus.

Existem referências astronômicas neste e em outros livros Védicos que recordam eventos ocorridos no terceiro ou quarto milênio a.C. ou ainda antes deste tempo.

Em resumo, os textos Védicos apresentam uma visão do universo que é tripartida e recorrente. O Universo é visto como três regiões, terra, espaço e céu, que no ser humano estão espelhadas no corpo físico, a respiração (prana) e mente. Os processos que ocorrem no céu, sobre a terra e dentro da mente são tomados como estando conectados. O universo também está conectado com a mente humana conduzindo à ideia de que a introspecção pode produzir conhecimento. O universo passa por ciclos de vida e morte.

Os profetas Védicos estavam cientes de que todas as descrições do universo conduzem a paradoxos lógicos.

Mostramos abaixo um dos hinos sobre a criação que faz parte dos Vedas.

नासदासीन्नो सदासीत्तदानीं नासीद्रजो नो व्योमा परोयत्
किमावरीवः ? कृह कः शर्मन्नं ब्रह्म ? किमासीद् गहनं गभीरम्...

As características mais notáveis da visão Védica do universo eram:

- **o Universo é grande, cíclico e extremamente velho**

Os Vedas falam de um universo infinito e os Brahmanas mencionam “yugas” (eras) muito grandes. A visão Védica recorrente do universo exige que o próprio universo passe por ciclos de criação e destruição. Esta visão cíclica se tornou parte da estrutura astronômica desenvolvida por eles e isso fez com que ciclos muito longos, de bilhões de anos, fossem considerados. Os Puranas falam do universo passando por ciclos de criação e destruição de 8,4 bilhões de anos embora também existam ciclos mais longos.

Assim, na cosmologia hindu o universo tem uma natureza cíclica. A unidade de medida usada é a “kalpa”, que equivale a um dia na vida de Brahma, o deus da criação. Uma kalpa tem aproximadamente 4,32 bilhões de anos. O final de cada “kalpa”, realizado pela dança de Shiva, é também o começo da próxima kalpa. O renascimento segue à destruição. Shiva é representada tendo na mão direita um tambor que anuncia a criação do universo e na mão esquerda uma chama que destruirá o universo. Muitas vezes Shiva é mostrada dançando num anel de fogo que se refere ao processo de vida e morte do universo.

O mais notável na cosmologia hindu, que lhe dá uma característica única, é o fato de que nenhuma outra cosmologia antiga usou períodos de tempo tão longos nas suas descrições cosmológicas.

- **um mundo atômico**

De acordo com a doutrina de Kanada existem nove classes de substâncias:

- ▶ éter, espaço e tempo, que são contínuas.
- ▶ as quatro substâncias elementares, ou partículas, chamadas terra, ar, água e fogo, que são atômicas.
- ▶ dois tipos de mentes, uma onipresente e outra que é o indivíduo.

A doutrina atômica de Kanada é, em certos aspectos bem mais interessante do que aquela proposta pelo grego Demócrito.



Visão hindu sobre a criação e destruição do Universo.

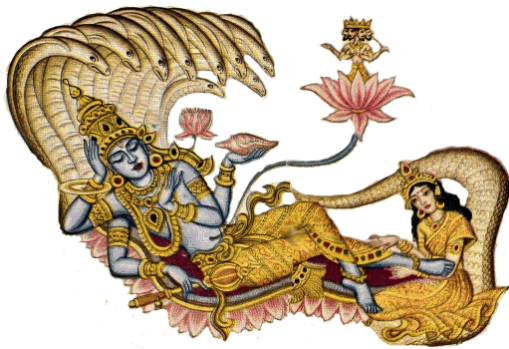


Ilustração encontrada nas histórias de Brahmana e Purana.

- **relatividade do espaço e do tempo**

Descrições mostrando que nem o espaço nem o tempo precisam fluir à mesma taxa para observadores diferentes é encontrada nas histórias de Brahmana e Purana assim como no Yoga Vasistha.

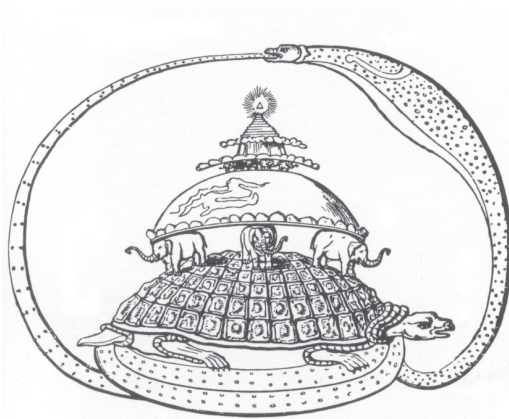
Certamente estas histórias não têm qualquer ligação com a teoria da relatividade especial que estabelece um limite superior para a velocidade da luz.

- **números binários e o infinito**

Parece que um sistema de números binários foi usado por Pingala por volta do ano 450 a.C. A estrutura deste sistema numérico pode ter ajudado na invenção da forma gráfica que distingue o zero, feita pelos indianos possivelmente entre os anos 50 a.C a 50 d.C. Sem o símbolo do zero a matemática teria tido grandes dificuldades no seu desenvolvimento. O sistema de números binários foi descoberto no ocidente pelo matemático alemão Leibnitz em 1678, quase 2000 anos depois de Pingala.

A ideia do infinito é encontrada nos próprios Vedas. Ele foi corretamente compreendido como aquilo que permanece inalterado se adicionarmos ou subtrairmos dele o próprio infinito.

Segundo a crença hindu o universo é destruído no final de cada kalpa, que é a vida do deus criador Brahma. Entre a destruição do universo e sua recriação, no final de cada ciclo, o deus Vishnu repousa nos anéis de Ananta, a grande serpente do infinito, enquanto espera o universo se auto-recriar.



Um dos conceitos hindus sobre o Universo.

A imagem ao lado mostra um dos conceitos hindus do Universo. A Terra, chamada por eles de Monte Meru, e as regiões infernais eram transportadas por uma tartaruga, símbolo da força e poder criativo. Por sua vez, a tartaruga repousava sobre a grande serpente, que era o emblema da eternidade. Existiam três mundos: a região superior era a residência dos deuses, a região intermediária era a Terra e a região inferior era a região infernal. Eles acreditavam que o Monte Meru cobria e unia os três mundos. No topo do Monte Meru estava o triângulo, o símbolo da criação. As estrelas giravam em volta da montanha cósmica Meru.

A ciência indiana, mas não a sua religião, sofreria uma profunda modificação com a incorporação dos conhecimentos trazidos pelos gregos.

Ocorre que a transmissão das ideias desenvolvidas pelos filósofos gregos para os árabes não foi algo que ocorreu de modo direto. Antes de chegar aos árabes, a filosofia grega passou pela Índia. Esta transmissão de conhecimentos dos gregos para os indianos possivelmente já ocorria desde o final do período grego antigo, em particular desde a época das conquistas de Alexandre, o Grande.

Certamente muitas ideias e inovações científicas surgiram na Índia em uma época anterior à idade científica grega. No entanto, os historiadores não conseguiram mostrar que as inovações criadas pelos indianos de alguma forma estivessem associadas às correspondentes inovações que surgiram na Grécia.

Os astrónomos indianos ficaram fascinados com a astronomia grega. Em particular eles se impressionaram com o método científico que os gregos tinham trazido, e tornado necessário, para a ciência.

No entanto, os filósofos indianos estavam pouco preocupados com dados puramente observacionais. Seu principal interesse se fixava nos princípios subjacentes que governavam o movimento dos planetas, do Sol, e da Lua, ou seja, eles se interessavam mais pela matemática que descrevia estes movimentos e que já havia sido desenvolvida pelos astrónomos gregos.

Os filósofos indianos sempre foram fascinados pela matemática. Como já vimos, foram os matemáticos indianos que inventaram o zero, uma absoluta necessidade para que pudesse ser desenvolvida uma aritmética tratável. Isto se refletiu diretamente no desenvolvimento da ciência quantitativa.

A era realmente produtiva da antiga astronomia indiana, entretanto, ocorreu muito depois que os gregos passaram a fazer parte do império bizantino. Este desenvolvimento deve ter acontecido do meio do terceiro século até o sétimo século, pois foi durante este período que a Índia teve um grande desenvolvimento sob as regras da dinastia Gupta e a cultura Harsch. Nesta época a cultura hindu experimentou sua idade de ouro. Durante este tempo viveram os dois principais astrônomos indianos Aryabhata e Brahmagupta.

Aryabhata de Kusumapura nasceu no ano 476. Ele foi um grande matemático, o primeiro a usar álgebra na astronomia. Seus trabalhos, incluídos como parte de uma compilação tradicional de escritos matemáticos e astronômicos coletivamente conhecidos como Siddhantas, incluíam fórmulas aritméticas, medições trigonométricas e equações quadráticas.

Aryabhata acreditava que existiam fórmulas algébricas e princípios geométricos capazes de explicar toda a mecânica celeste. Ele não aceitava o processo ptolomaico usado para explicar e verificar fatos astronômicos. Na verdade, Aryabhata nunca esteve completamente satisfeito com as ideias de Ptolomeu sobre as maneiras pelas quais os planetas se moviam nem com as várias ideias cosmológicas deste filósofo grego.

Aryabhata opunha-se particularmente ao pensamento de que a Terra estava em repouso. Ele se sentia bastante seguro de seus próprios cálculos e observações e, baseado neles, afirmava que a Terra devia girar, estivesse ou não fixa em uma coordenada espacial.

Brahmagupta, que viveu no período entre 590-660, também foi matemático e astrônomo. Ele escreveu um poema chamado “Brahma-Sphuta-Siddhanta”, que significa “sistema melhorado de Brahma”, que era, na verdade, um trabalho sobre astronomia que incluía também capítulos sobre matemática.

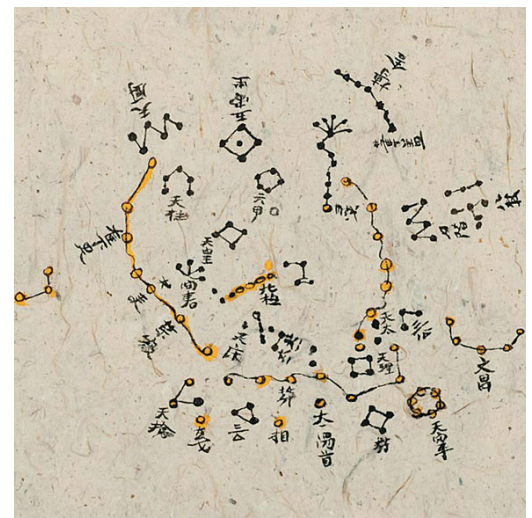
Brahmagupta conhecia muito bem as opiniões de Ptolomeu e Aryabhata. No entanto, ele preferiu apoiar as teorias planetárias de Aryabhata, pois ele também acreditava que haviam evidências suficientes para provar que a Terra girava.

A COSMOLOGIA NA CHINA

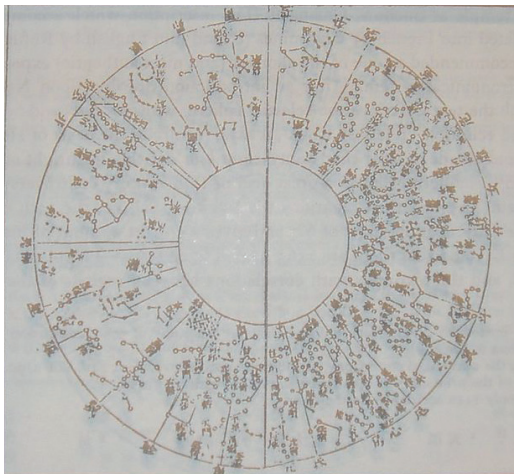
Entre as civilizações antigas é certo que a chinesa foi uma das primeiras a se preocupar com a astronomia. Já entre os séculos 3 e 4 antes de Cristo os astrônomos chineses Shi Shen, Gan De e Wu Xian mapearam as posições das estrelas no céu e determinaram algumas constelações (bem diferentes daquelas construídas no mundo ocidental, uma vez que o desenho de constelações não possui base física). Segundo alguns historiadores, esse é o mais antigo mapa estelar que se conhece. Ao longo dos séculos muitas cópias foram feitas desse documento. Ao lado mostramos a cópia mais antiga existente deste mapa, feita na Dinastia Tang, por volta do século IX da nossa era. Ele foi descoberto, na época moderna, nas ruínas de um mosteiro nos desertos da Ásia Central.

A seguir mostramos o mapa estelar da projeção polar sul feita para o globo celeste do engenheiro mecânico e cientista chinês Su Song (1020-1101) da Dinastia Song (960-1279). Esse mapa foi publicado pela primeira vez no livro “Xin Yi Xiang Fa Yao”.

A cosmologia da China antiga pode ser vista na arte, arquitetura e nos escritos mais antigos deste povo. Ela está fortemente impregnada com as religiões dominantes, o Taoísmo e o Confucionismo.



Carta celeste feita entre os séculos 3 e 4 a.C.. O mais antigo mapa estelar que se conhece.



Mapa estelas concebido por Sun Song da dinastia Song (960-1279).

A cosmologia chinesa é muito esparsa no que diz respeito à criação. Entretanto, existe um mito que data do século 3 a.C. que estabelece que no começo, o céu e a terra estavam unidos sob a forma de uma vasta nebulosidade na forma de um ovo. O primeiro homem sobre a Terra foi Pangu, e foi ele que separou o céu e a terra. Alguns dizem que ele fez isso usando um machado. Outros dizem que ele fez isso crescendo cada vez mais até que os dois foram obrigatoriamente divididos. Em qualquer um dos casos, a porção mais leve deslocou-se para cima, tornando-se o firmamento enquanto a porção mais pesada acomodou-se na parte de baixo e se tornou a terra.

Quando Pangu morreu sua cabeça se tornou as montanhas, seus olhos o Sol e a Lua, suas artérias e veias os mares e rios e seu cabelo e pele as plantas e os vegetais. Não obstante, seus restos mortais são ditos terem sido enterrados em algum lugar em uma montanha na província de Guangdong.

A interpretação chinesa da orientação física do universo teve pouca influência filosófica. Existem várias interpretações individuais diferentes mas cada uma delas contém várias ideias básicas comuns sobre a estrutura universal.

Sabemos que os chineses na verdade distinguiam entre estrelas e planetas e que já tinham notado o comportamento errante de vários corpos celestes. Existiam inicialmente três modelos de orientação celeste:

- **Gai Tian**

Era a teoria do firmamento em forma de domo. Ele colocava o que hoje chamamos de Ursa Maior no centro do domo celeste e a China ficava no centro da Terra.

- **Hun Tian**

Era a escola que previa um firmamento esférico com uma forma muito semelhante a um ovo de galinha onde a Terra é como a gema. O firmamento era mantido suspenso por um vapor chamado “qi”. Esta teoria particular conduziu a vários avanços tecnológicos na astronomia como a construção de esferas e anéis armilares.

- **Xuan Ye**

Era a teoria que nos dizia que o universo era infinito e os corpos celestes estavam suspensos nele. Essa ideia, obviamente, não era justificada por qualquer fato ou observação.

Em quase todas estas interpretações do firmamento, um vento ou vapor celestial sustentava os corpos celestiais. Este é um conceito chinês muito comum no qual o vento não somente mantinha suspensas as estrelas fixas no céu mas também, devido ao arrasto viscoso proveniente da Terra, produzia o movimento para trás do Sol, da Lua, dos cinco planetas visíveis e das estrelas.

Os chineses percebiam o céu como sendo arredondado. Ele tinha nove níveis cada um dos quais separado por um portão e guardado por um animal particular. O nível mais alto era o “Palácio da Tenuidade Púrpura”. Era aí que o Imperador do Céu vivia, na constelação que hoje chamamos de Ursa Major.

No centro do céu estava o Pólo Norte e a Estrela Polar. O pólo celeste era uma característica crítica da cosmologia chinesa. Para os chineses esse centro era o ponto geográfico mais importante porque ele era o ponto mais próximo do firmamento. Eles acreditavam que o coração da civilização estava situado no centro da Terra e à medida que a Terra se espalhava para fora deste centro as terras e seus habitantes se tornavam cada vez mais selvagens.



Conceito dos chineses sobre a distribuição dos corpos celestes.

A COSMOLOGIA GREGA

A civilização grega

Embora algumas civilizações antigas tenham realizado progressos científicos relevantes, nada se compara ao que foi feito pelos gregos, que começaram a desenvolver o método científico de investigação.

Na Grécia antiga, os pensadores não acreditavam imediatamente nas explicações dos fenômenos que ocorriam à sua volta. A ciência passou a ter uma forte conotação experimental.

Fatores culturais da sua civilização permitiram que o método científico fosse adotado pelos filósofos, dentre os quais destacam-se:

- a possibilidade da discussão franca dos mais variados assuntos. Isso ocorria nas assembléias onde, pela primeira vez, o debate racional permitia que uns tentassem persuadir outros que seus argumentos eram mais corretos. O debate é um ponto fundamental para o desenvolvimento científico.
- a economia marítima, que impedia o isolamento do seu povo e permitia a influências de outras culturas.
- a existência de um mundo bastante amplo que usava a língua grega, permitindo os viajantes e eruditos adquirir mais experiência e conhecimento.
- a existência de uma classe mercantil independente, que podia contratar seus próprios professores. Isso tirava o conhecimento exclusivamente dos nobres ou daqueles ligados à nobreza.
- a religião, que mesmo tendo sacerdotes, não era dominada por eles. Isso tornava maior a liberdade de expressão e diminuía o medo de expressar opiniões.

Esses fatores, presentes numa sociedade durante mil anos, resultaram no desenvolvimento cultural dos gregos antigos. O desenvolvimento da matemática foi fundamental para o avanço da ciência. Eles adquiriram uma paixão pela geometria e por isso deram uma impressionante contribuição a esse ramo da matemática. No entanto, acreditavam que o círculo era “a forma perfeita”, apesar das manchas que observavam na Lua, durante a fase cheia, e das manchas solares que ocasionalmente podiam ser vistas a olho nu, no crepúsculo.

A adoração pela perfeição do círculo levou-os a postular que as órbitas planetárias eram circulares. Foram os primeiros a construir um modelo cosmológico parcialmente capaz de descrever o movimento aparente da Lua, do Sol, planetas e estrelas..

No século 4 a.C. desenvolveram a ideia que as estrelas eram fixas numa esfera celeste, que girava em torno da Terra esférica a cada 24 horas. Os planetas, o Sol e a Lua, se moviam no éter, um meio que permeava todo o espaço. Para a maioria dos astrônomos gregos a Terra era estacionária e tudo mais se movia.

A mitologia grega e sua cosmologia primitiva

Os povos antigos foram capazes de notar que o Sol, a Lua e as estrelas seguem trajetórias, que mudam levemente conforme as estações do ano. Isso os levou a evoluir na maneira de encarar o mundo à sua volta. Postularam que algum tipo de consciência deveria estar controlando os movimentos dos corpos celestes e determinando as variações de clima que ocorriam ao longo do ano, fundamentais para a sobrevivência das sociedades pastorais e agrárias daquela época. Mas quem, ou o que, produziria essas variações tão importantes? Uma consequência dessa indagação é o surgimento da mitologia.

02

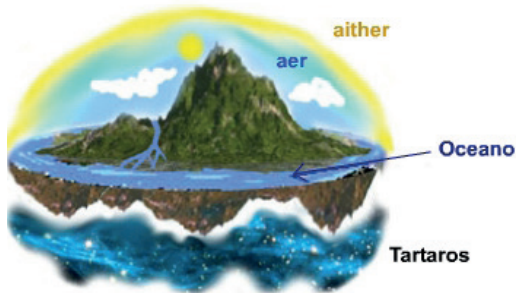
A Cosmologia Grega



Detalhe da pintura feita por Rafael Sanzio, que representa a Academia de Atenas. Uma alusão de debates entre os filósofos da época.



Atlas, o deus da mitologia grega carregando o mundo em suas costas.



Uma das odisséias de Homero.



Bustos de Homero, o escritor de poemas épicos e Hesiodo.

A mitologia grega é vastíssima. Muitos deuses e semideuses dividiam poderes. Também possuíam imperfeições, relacionadas com algumas características do comportamento humano tais como ciúme, cobiça, ódio, etc. Um desses deuses, Atlas, era representado carregando o mundo em suas costas. A estátua de Atlas, que data do século II e foi recuperada em ruínas romanas durante a renascença, parece apresentar parte do mais antigo catálogo de estrelas do ocidente, criado pelo astrônomo grego Hiparcus por volta de 129 a.C. Esse catálogo era uma coletânea de observações ainda mais antigas, feitas pelos babilônios. A maior parte do trabalho de Hiparcus foi perdida. Provavelmente, outros astrônomos posteriores a ele usaram seu catálogo. Historiadores acreditam que o globo celeste transportado por Atlas nessa escultura mostra parte do catálogo, além de imagens míticas ainda mais antigas.

Com esses deuses, os gregos montaram sua concepção primitiva do universo.

Os primeiros registros de como os gregos interpretavam o universo estão em poemas épicos escritos por Homero e Hesiodo. Homero escreveu dois famosos poemas épicos, a *Ilíada* e a *Odisseia*, nos quais descrevia as guerras da época e os perigos de retornar para casa após longas ausências.

Na *Odisseia* Homero afirma que o céu possui formato de uma bacia emborcada, que englobava toda a Terra, com um “aither” (éter) brilhante e flamejante situado acima do “aer” (ar), onde estão as nuvens. Havia também o oceano e Tartaros, região situada abaixo da terra (ilustração ao lado).

Para Hesiodo a noite era uma substância que jorrava para cima, vindo das profundezas da Terra, como se a noite fosse uma névoa escura que fluía no fim do dia.

Além das interpretações do universo feitas pelos gregos cultos, havia também as que pertenciam à cultura popular. Um desses cultos era o de Orfeu, que concebeu seus próprios deuses e mitos sobre a criação do universo, diferente de Homero e Hesiodo, nos quais um ovo primordial teria sido gerado pelos deuses antigos. A metade superior da casca quebrada se tornou a abóbada do céu.

O universo dos gregos a partir do século 6 a.C.

Com o desenvolvimento da civilização ocidental na Grécia Antiga vários pensadores se destacaram por ousarem pensar o mundo a sua volta de uma maneira diferente dos demais. Os primeiros que temos notícia são chamados de filósofos pré-socráticos ou seja, aqueles que viveram ou antes do filósofo grego Sócrates (469-399 a.C) ou foram contemporâneos dele, mas defendiam ideias anteriores a ele. A esses filósofos se devem as primeiras tentativas de rejeitar as tradicionais explicações mitológicas dos fenômenos que ocorriam à sua volta e tentar alguma explicação racional para eles.

É nessa época que, apropriando-se do conhecimento de povos mais antigos ou criando a partir de suas próprias ideias, os filósofos gregos desenvolveram de modo sistemático ciências como a matemática (em particular a geometria), os fenômenos da natureza (em particular a “cosmologia”) e a filosofia. Iniciava-se assim o conhecimento no mundo ocidental mas não no mundo como um todo pois antes disso, como já vimos, povos orientais já apresentavam um grau mais alto de evolução nos seus conhecimentos.

Ao olhar para o mundo à sua volta várias perguntas eram formuladas por pessoas do mundo antigo no Ocidente. Entre elas destacam-se perguntas simples, mas fundamentais, tais como “de onde vêm todas as coisas?”, “a partir de que todas essas coisas são formadas?”, “existe alguma coisa comum a todas elas?” e “como podemos explicar a existência de tantas coisas diferentes na natureza?”.

Certamente essas perguntas são, AINDA HOJE, FORMULADAS PELA MAIORIA DAS PESSOAS NO NOSSO PLANETA!

O grande acréscimo ao conhecimento dado pelos gregos foi a tentativa de responder à pergunta: “podemos, e como, descrever a natureza usando a matemática?”. Isso eles começaram a fazer e o resultado dessa longa caminhada é mostrado no conhecimento acumulado nos dias de hoje.

No século 6 a.C. surgiu na cidade de Miletus, nas costas do mar Egeu, na região de Ionia, Anatólia, um dos mais antigos grupos de filósofos que pensaram sobre a natureza. Sua grande contribuição foi apresentar uma descrição da natureza totalmente contrária ao que existia naquela época, na qual os fenômenos naturais eram explicados unicamente como desejos de deuses com características humanas (antropomorfismo). Entre esses pensadores destacaram-se Thales, Anaximander e Anaxímenes e as ideias desenvolvidas por eles são reunidas em uma escola de filosofia à qual é dada o nome de “escola Milesiana”. Esses pensadores teriam sido os primeiros a desenvolver filosofias verdadeiramente científicas (para os padrões da época). Não podemos julgar o pensamento de pessoas que viveram 27 séculos antes de nós com a óptica do conhecimento científico atual.

FILÓSOFOS GREGOS PRÉ-SOCRÁTICOS			
JÔNICOS	Thales (624-546 a.C.)	cerca de 600 a.C.	água / estudo racional da natureza
	Anaximander (610-546 a.C.)	cerca de 550 a.C.	o Ilimitado / primeiro modelo mecânico do cosmos
	Anaxímenes (de Miletus) (585-525 a.C.)	cerca de 520 a.C.	ar / esferas cristalinas
	Heraclitus (535-475 a.C.)	cerca de 500 a.C.	fogo / transformação contínua
PITAGÓRICOS	Pythagoras (582-496 a.C.)	cerca de 520 a.C.	misticismo numérico / mecanização da natureza
	Philolaus (470-380 a.C.)	cerca de 450 a.C.	modelo do cosmos com “fogo central”
ELEÁTICOS	Parmenides (510-440 a.C.)	cerca de 480 a.C.	ser / toda mudança é ilusória
	Zeno (de Elea) (490-430 a.C.)	cerca de 460 a.C.	paradoxos envolvendo o movimento
ATOMÍSTAS	Leucippus (século 5 a.C. - datas desconhecidas)	cerca de 430 a.C.	tudo é feito de átomos indivisíveis e imutáveis
	Democritus (460-370 a.C.)	cerca de 400 a.C.	elaboração da hipótese atomista

OS PRIMEIROS FILÓSOFOS NATURAIS: OS JÔNICOS

Os antigos jônicos foram os primeiros pensadores que afirmaram, sistematicamente, que são as leis e as forças da Natureza, e não os deuses, os responsáveis pela ordem e até pela existência do mundo.

O poeta romano Titus Lucretius Carus (cerca de 98-55 a.C.), autor de “De rerum natura” (Da Natureza das coisas), resumiu as ideias dos Jônicos da seguinte maneira:

“A Natureza livre e desembaraçada de seus senhores arrogantes é vista agindo espontaneamente por si mesma, sem a interferência dos deuses.”

Sabemos hoje que a civilização humana começou há apenas 10 ou 12 mil anos. A experiência jônica tem 2500 anos. No entanto, a forma de pensar jônica foi quase inteiramente apagada, desaparecendo quase totalmente depois da época de Platão e Aristóteles.

Mostramos a seguir um resumo das ideias de alguns dos principais filósofos gregos Jônicos: Thales, Anaximander, Heraclitus e Anaxagoras.

Mapa da distribuição dos povos da época.



Thales (de Miletus)

O pensamento e a especulação científica grega começou em uma escola de filosofia criada em Iônia no século VI a.C. O interesse dos gregos pela especulação científica foi visto pela primeira vez na cidade de Miletus, em Iônia. Entre os filósofos que lá viviam um se destacou: Thales (de Miletus).

Thales (de Miletus) nasceu em 640 a.C. Ele foi o primeiro filósofo natural (assim os cientistas eram chamados naquela época) grego importante e, frequentemente, é considerado o pai da astronomia grega. Mais tarde, o filósofo grego Aristóteles iria considerá-lo o fundador da filosofia ocidental.

Suas contribuições foram numerosas em particular no desenvolvimento da navegação astronômica.

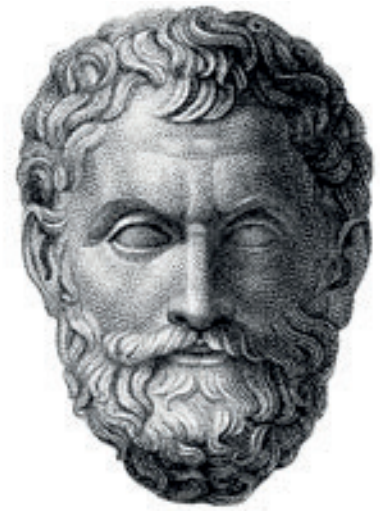
Thales ganhou fama ao prever a ocorrência de um eclipse solar no ano 585 a.C. O historiador Herodotus, que viveu no século V a.C., nos conta que Thales previu o ano em que iria ocorrer um eclipse do Sol. Isto realmente

aconteceu durante uma batalha entre os Lídios e os Persas.

Se Thales realmente fez isso, e muitos historiadores não acreditam nesta previsão, sem dúvida é uma façanha maravilhosa tendo em vista a pobreza dos registros astronômicos da época. Alguns pesquisadores acreditam que Thales sabia da tendência que os eclipses tinham de se repetirem a cada 47 anos e sabia da ocorrência de um eclipse 47 anos antes da data que ele previu. Mesmo assim, isso é bastante notável para a época.

Nenhum dos trabalhos de Thales sobreviveu, mas a sua reputação entre os gregos nos séculos que se seguiram ficou sendo aquela de um homem que sempre assumia uma abordagem racional ou “científica” em relação aos mistérios do mundo natural. Para Thales, a natureza era a província da razão e para entendê-la não precisamos invocar deuses.

Thales colocou a questão de qual elemento veio primeiro ou seja, qual era a substância fundamental da natureza. Sua conclusão foi que esse elemento era a água. Assim ele explicava a mudança perceptível que havia entre os céus e a Terra ou seja, líquido e vapor. Entretanto, Thales não explicou como essa água se transformaria em outras substâncias tais como o fogo. A descrição do universo feita por Thales sugeria que a Terra flutuava sobre a água.



Thales (de Mileto).

Anaximander (de Miletus)

Depois de Thales a escola iônica foi liderada por Anaximander (610 - 547 a.C.), também de Miletus. Entretanto, o ensinamento de Anaximander era mais complexo e sutil do que o de Thales.

Curiosamente, a reputação de Thales (de Miletus) foi fortemente apoiada pelas realizações de Anaximander que havia sido seu aluno. A Anaximander é creditado o fato de ter sido o primeiro pensador que tentou mapear o mundo e que ofereceu uma audaciosa explicação sobre a origem do universo.

Anaximander mantinha que a origem de tudo (a substância fundamental do universo) era uma massa primária, indefinida e eterna, a qual ele deu o nome de “ilimitado”. Esse foi o primeiro elemento que surgiu, uma substância não específica, algo indefinida. Sua teoria apresentava uma descrição de como esse “ilimitado” resultaria nas coisas então conhecidas:

“No nascimento desse mundo uma semente de quente e frio se separou do ilimitado e a partir disso uma bola de fogo girou no ar em torno da Terra, como a casca de uma árvore.”

Na teoria de Anaximander a partir do “ilimitado” os opostos primários de calor e frio, aridez e umidade se separaram.

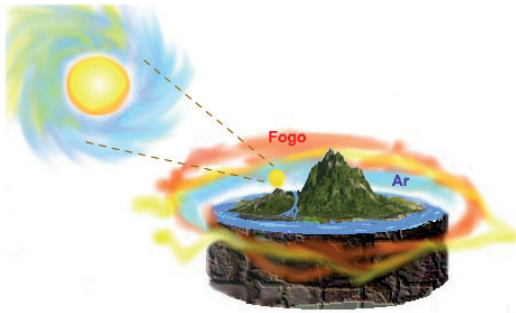
Sua cosmologia partia dessa ideia. Na teoria de Anaximander o cosmos resultou de uma luta entre os opostos de calor e frio. No vasto começo não limitado do tempo os dois começaram a se separar, resultando em uma bola de fogo circundada por neblina. A bola quente contraiu e endureceu formando uma esfera sólida no centro, que é a Terra.

No entanto, essa separação não foi perfeita. Alguns anéis mais externos de fogo aprisionaram camadas de névoa dentro deles. Esta névoa é a nossa atmosfera. Através de aberturas nela podemos observar pequenas partes do fogo circundante, na forma do Sol, Lua e as estrelas.

Deste modo, o Sol e as estrelas eram fogos aprisionados em massas globulares pelo ar mais frio. O que nós vemos realmente no céu é o “bocal” ou “respiradouro” do Sol que está voltado na nossa direção.



Anaximander (de Miletus).



O Universo de Anaximander: uma Terra cilíndrica e “aberturas” de fogo.

A ideia da existência de uma matéria primária é digna de reflexão. É preciso ter muita abstração científica para, naquela época, visualizar um único princípio metamórfico como base de todas as coisas.

Anaximander também dizia que a Terra estava necessariamente em repouso por causa da sua *homoiotetes*, palavra grega que significa uniformidade, e portanto não precisava repousar sobre coisa alguma.

Heraclitus (de Ephesus)

Heraclitus viveu no período entre 540 e 480 a.C. Para ele a criação ocorria por meio do equilíbrio de diferentes substâncias e todas as coisas eram produzidas através de um processo de condensação criado pelo fogo (substância fundamental). O fogo era o princípio constitutivo de todas as coisas e a partir dele tudo se explica por transformações: tudo nasce do fogo e tudo também termina nele. Segundo Heraclitus, a parte mais espessa do fogo, ao se contrair, fez nascer a terra e quando esta se dilatou, em virtude do fogo, nasceu a água. Da evaporação da água teve origem o ar.

A noite era formada por emanações escuras liberadas pela Terra e o dia era criado pelas emanações acendidas pelo Sol.

Heraclitus acreditava que Sol, a Lua e as estrelas são fogos aprisionados em bacias que lançam pontas para fora delas ocasionando os eclipses e as fases da Lua.

Ele também achava que a Lua se deslocava através do ar menos puro que está próximo à Terra e, por esse motivo, ela é menos brilhante. O Sol tinha cerca de 30 centímetros de largura e era a mais próxima de todas as estrelas sendo, portanto, a mais brilhante e a mais quente entre elas. Para ele um novo Sol aparecia a cada dia.

Heraclitus parecia acreditar que o Universo se comportava de uma maneira periódica.

Anaximenes (de Miletus)

Anaximenes viveu por volta do ano 525 a.C. Ele refinou a ideia de que a Terra era plana e sugeriu que todas as coisas seriam produzidas através de um processo de “condensação” e “rarefação” gradual.

Para Anaximenes a substância fundamental é o ar. Para ele a terra se condensa a partir do ar e o fogo é “exalado” pela terra.

Segundo ele a Terra e os corpos celestes são planos e flutuam no ar infinito como se fossem folhas de uma árvore.

Anaximenes também afirmava que os corpos celestes não se põem abaixo da Terra, como se dizia na mitologia. Ao invés disso eles fazem uma curva em um determinado ângulo como podemos ver pelo fato das estrelas se moverem realizando círculos na parte norte do céu.

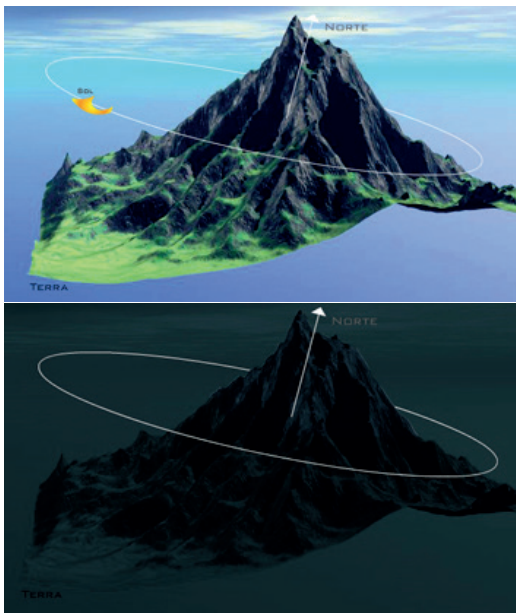
Esses corpos celestes desaparecem das nossas vistas por serem ocultados pelas partes “mais altas” da Terra que estão na direção norte.

Anaxagoras (de Clazomenae)

Anaxagoras viveu no período entre 500 e 428 a.C. Ele sugeriu que *nous*, palavra grega que significa a mente, controlava o universo.

Ele também acreditava que os cometas eram formados por planetas que colidiam.

Além disso, Anaxagoras acreditava que o Sol era uma bola de fogo, de ferro derretido, maior que o Peloponeso.



O Universo de Anaximenes.



Anaxagoras (de Clazomenae).

Segundo ele, a Terra era plana, sólida e estava suspensa no ar. Para ele a Lua estava mais perto da Terra do que o Sol.

Anaxagoras também tinha opinião sobre os eclipses. Para ele, os eclipses da Lua eram causados pela sombra da Terra e de outros corpos e os eclipses do Sol eram causados pela Lua.

Segundo Anaxagoras existiam corpos invisíveis atrás das estrelas.

Anaxagoras também acreditava que os meteoros que ele e seus conterrâneos viam caírem do céu eram formados pelos mesmos materiais que encontramos na Terra. Para ele os corpos celestes originalmente faziam parte da Terra mas foram lançados no espaço devido à rápida rotação do nosso planeta. À medida que a rotação desses outros corpos diminuía eles eram puxados de volta pela Terra e caíam sobre ela na forma de meteoros.

A ESCOLA ELEÁTICA

A escola eleática foi a terceira das antigas escolas filosóficas gregas, fundada por Xenophanes (nascido por volta de 570 a.C.). Seu principal ensinamento era que o universo é singular, eterno e inalterável. Segundo Xenophanes “O todo é um”.

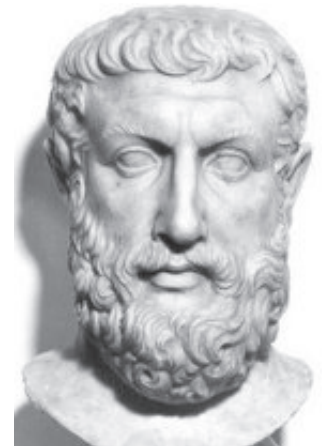
Os eleáticos consideravam a criação, a diversidade, a mudança e o movimento como ilusões dos sentidos. Todas as transformações observadas na natureza são ilusões dos sentidos. O maior dentre seus filósofos foi Parmênides (nascido cerca de 540 a.C.). Atribui-se a ele a introdução do argumento lógico na filosofia. As crenças de Parmênides na unidade absoluta e constante da realidade são radicais e abstratas, mesmo para os padrões modernos. Um dos estudantes de Parmênides foi Zeno (de Elea) (~ 490 - ~425 a.C.). Ele é lembrado por ter usado vários argumentos com os quais defendia a filosofia eleática, “colocando à prova”, por meios lógicos, que a mudança, o movimento e a pluralidade são impossíveis.

Nenhum dos escritos de Zeno sobreviveu. Suas ideias são conhecidas com base nos textos de Platão, Aristóteles, Simplicus e Proclus, que manifestavam pouca concordância com elas. A principal fonte de conhecimento sobre as ideias de Zeno está no diálogo “Parmênides”, escrito por Platão. Contudo, atribui-se a Zeno um livro contendo 40 paradoxos. Quatro deles tiveram alguma influência no desenvolvimento do raciocínio lógico e matemático: “dicotomia”, “Aquiles e a tartaruga”, “a flecha” e “stadium”. O mais conhecido é “Aquiles e a tartaruga” no qual descreve um paradoxo: “o mais lento nunca será alcançado pelo mais rápido, porque o mais rápido deve primeiro atingir o ponto onde o mais lento, que está fugindo, partiu. Assim o mais lento sempre estará alguma distância à frente do mais rápido”.

O UNIVERSO DE PITÁGORAS (DE SAMOS)

Pitágoras viveu no período entre ~580 (ou ~590) e 500 antes de Cristo e é geralmente considerado um dos maiores professores gregos desta época mais remota. Pitágoras foi um importante contemporâneo de Thales (de Miletus).

Ele fundou uma escola que misturava filosofia natural e misticismo e que atraiu muitos seguidores. Vários estudiosos preferem dizer que Pitágoras formou um culto e não uma escola em Crotona, sul da Itália. Porque um culto? Os seguidores de Pitágoras viviam em um rígido regime, que incluía o vegetarianismo, o voto de silêncio durante os cinco primeiros anos de permanência no grupo, e total anonimato em relação a feitos pessoais. Devido a estas restrições é difícil saber o que foi feito por Pitágoras e o que foi pelos seus seguidores.



Parmênides (nascido cerca de 540 a.C.).

A escola de Pitágoras fez vários desenvolvimentos na matemática. Foram seus seguidores que, pela primeira vez, reconheceram a existência de números irracionais. No entanto, havia também um pouco de misticismo nos seus estudos. Para os pitagóricos o ponto estava associado ao número 1, uma linha com o número 2, uma superfície com o 3 e um sólido com o 4. Sua soma dava 10, número então considerado sagrado e onipotente.

Pitágoras é mais conhecido pelo seu teorema: o **Teorema de Pitágoras**

“Em um triângulo retângulo o comprimento da hipotenusa elevado ao quadrado é igual à soma dos comprimentos de cada cateto elevado ao quadrado.”

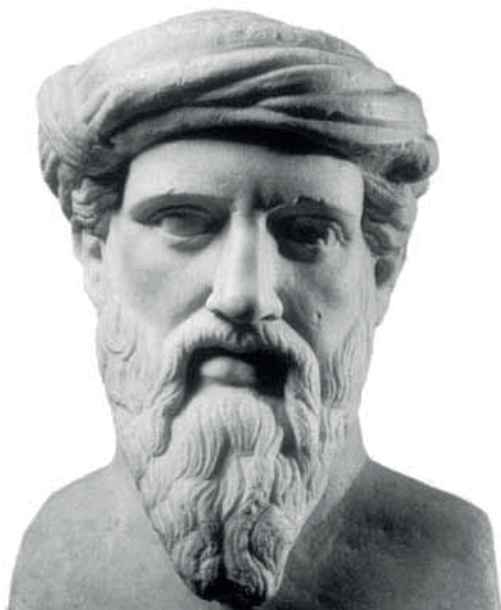
O teorema de Pitágoras já era conhecido pelos antigos Babilônios, mas parece que Pitágoras foi o primeiro a demonstrá-lo.

Os desenvolvimentos feitos na astronomia pelos membros da escola de Pitágoras estavam baseados nos estudos de Anaximander. Parece que o conceito de “movimento circular perfeito” veio de Anaximandro.

A escola de Pitágoras estava interessada na relação entre a música e a matemática. Eles provaram que os intervalos musicais seguem proporções numéricas. Seus membros acreditavam que os planetas estavam associados a esferas cristalinas, uma para cada planeta, as quais produziam a “Música das Esferas”. Estas esferas estavam centradas na Terra, e ela mesma estava em movimento. Nós não notamos a “música das esferas” por que ela sempre esteve à nossa volta e, portanto, não sabemos como seria não sentir o seu som.

É provável que Pitágoras tenha sido o primeiro a supor que a Terra é uma esfera. Alguns também atribuem a Pitágoras ter reconhecido que a “estrela matutina” e a “estrela vespertina” são, ambas, o planeta Vênus.

Embora somente oito corpos celestes fossem conhecidos naquela época, Pitágoras acreditava que deveriam haver dez - os cinco planetas conhecidos, o Sol, a Lua, a Terra, e uma chamada “contra Terra” designada pelo termo grego *antikhthon*.



Pitágoras (de Samos) (entre 580 e 500 a.C.).

OS PITAGÓRICOS NO SÉCULO 5 A.C.

Um modelo astronômico interessante foi sugerido por volta de 410 a.C. pelo filósofo Filolau (de Crotona) que postulou que o fogo central no universo, chamado “Héstia”, e que alguns pitagóricos colocavam no centro da Terra, na verdade marcava o centro do universo.

Ao adotarem o modelo de Filolau, os seguidores de Pitágoras, no século 5 a.C., passaram a acreditar que nem a Terra nem o Sol, mas sim um “fogo central”, estava no centro do universo. Isso fazia com que a Terra fosse deslocada para fora do centro do universo, e agora passasse a circular em torno de Héstia.

Os Pitagóricos colocaram esse fogo no “centro escondido das coisas”. Era esse fogo que fornecia a energia para que os corpos celestes pudessem se movimentar. Em torno deste “fogo central” moviam-se os planetas conhecidos, a Terra, a contra-Terra, a Lua e o Sol, cada um deles associado à sua própria esfera de cristal. A Terra girava mais próxima do “fogo central” do que qualquer um dos outros corpos visíveis no céu.

A Terra estava protegida deste “fogo central” pela “contra-terra”, razão pela qual nós não víamos o fogo central: a contra-Terra que circulava em volta de Héstia bloquearia a sua visão para os terráqueos. Uma outra razão pela qual nunca vemos ou somos torrados por esse fogo é pelo fato de que vivemos sobre

somente metade da esfera da Terra e essa nossa metade está sempre virada na direção contrária ao fogo. Isso torna necessário que a Terra gire em torno do seu eixo à medida que percorre sua órbita, uma revolução completa por órbita exatamente como a Lua percorre sua órbita em torno da Terra mostrando sempre a mesma face. Para os Pitagóricos esta rotação da Terra em torno do seu eixo explica (corretamente) o modelo de dia e noite.

Acredita-se que a “contra-terra” foi “inventada” para explicar os eclipses, em particular porque os eclipses lunares são mais frequentes do que os solares, mas também para fazer com que o número de objetos que circundavam o fogo central fosse 10, o número mágico dos pitagóricos.

Deste modo os pitagóricos foram os primeiros a produzir uma teoria astronômica na qual uma Terra esférica girava em torno de seu próprio eixo assim como se movia em uma órbita. Note que essa teoria surgiu em parte devido à necessidade de localizar o grande fogo que eles acreditavam alimentar o universo.

Os Pitagóricos estavam muito a frente do seu tempo ao proporem a única verdade de sua teoria - o fato de que a Terra é esférica e gira. Futuramente Copérnico desenvolveria esta ideia não deixando de reconhecer que os Pitagóricos foram os seus criadores.

Para os Pitagóricos a sequência dos corpos celestes, se nos movermos nos afastando da Terra, será dada pela Lua, a seguir o Sol, os planetas e finalmente as estrelas. Essas últimas, ao contrário dos outros objetos celestes, permanecem fixadas sobre uma esfera mais externa.

Estas “esferas celestiais”, surgidas no século 5 a.C. e conservadas como relíquias por Ptolomeu, introduziram os círculos concêntricos que dominariam a descrição do Universo pelos próximos 2000 anos. Elas também dariam início a uma procura infrutífera que exercitaria muitas mentes brilhantes da época: que modelo mecânico poderia explicar o movimento errático dos planetas?

SURGE O CONCEITO DE ÁTOMO

Leucippus

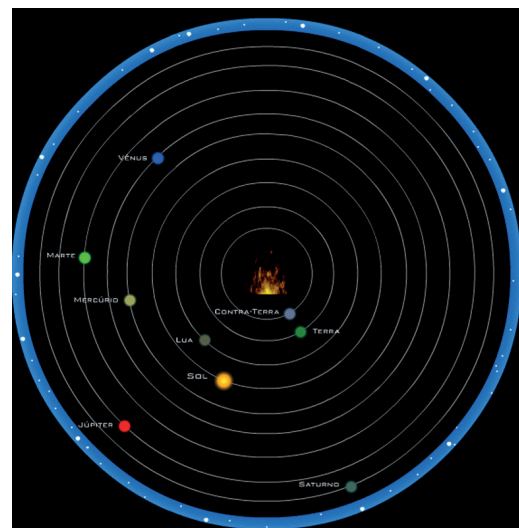
Leucippos (Leucippus, em latim) nasceu na primeira metade do século 5 a.C. e, provavelmente, foi o primeiro filósofo grego a propor a ideia de átomo.

Influenciado pelo filósofo Zeno (Zenão de Abdera) estudou na escola fundada por Zeno, que possuía grande interesse em questões filosóficas que envolviam o conceito de espaço, assunto que também passou a interessar seu estudante. Por volta de 430 a.C. Leucippus fundou uma escola de filosofia onde tinha como aluno Demócrito. Nessa época iniciou o desenvolvimento de sua teoria atomística, isto é, a ideia de que todas as coisas eram inteiramente compostas de inúmeros elementos indivisíveis e inextinguíveis, chamados átomos.

Até hoje não foi encontrado qualquer documento escrito por Leucippus. Sabe-se que ele escreveu dois importantes trabalhos: “Magas Diakosmos” (A ordem do universo) e “Peri Nou (Sobre a mente). Há indícios que seus textos foram incorporados aos trabalhos de seu estudante, Demócrito, que aprimorou as ideias de Leucippus sobre átomos. Por não existirem documentos, o filósofo Epicurus duvidava que Leucippus tivesse realmente existido. No entanto, Aristóteles e Theophrastus citaram explicitamente que o “atomismo” havia sido criado por Leucippus.

Demócrito (de Abdera)

No final do século 5 a.C., Demócrito (460 a.C. e 370 a.C.) elaborou inteiramente a teoria proposta por Leucippus, ao afirmar que toda a matéria é composta por substâncias infinitamente pequenas, indivisíveis e indestrutíveis,



Esfera externa de Estrelas fixas.



Leucippus (século 5 a.C.).

que se reúnem em diferentes combinações para formar os objetos que percebemos. O termo grego para “unidade indivisível” é “átoma”. É impossível dizer qual parte dessa teoria deve-se a Leucippus ou a Democritus, mas, significa o nascimento do conceito de átomo.

Segundo Demócrito (ou Leucippus) a essência da natureza é imutável porque as mudanças são provocadas por átomos, que são imutáveis e indivisíveis. Os átomos possuem algumas propriedades: tamanho, forma e talvez peso..

Demócrito foi o primeiro filósofo a propor que a via láctea é formada pela luz emitida por estrelas muito distantes (mais tarde Aristóteles discordaria dele). Também foi o primeiro a sugerir que o universo continha “muitos mundos”, talvez um número infinito deles, alguns habitados.

“Em alguns mundos não há Sol nem Lua, enquanto em outros eles são maiores do que no nosso mundo e em outros são mais numerosos. Em algumas partes existem mais mundos, em outras menos...; em algumas partes eles estão surgindo, em outras definindo. Existem alguns mundos desprovidos de criaturas vivas ou plantas ou qualquer umidade”

Sua visão de início do universo é extraordinária. Supôs que originalmente todos os átomos estavam rodopiando de maneira caótica, até que colisões os reuniram formando estruturas maiores, incluindo “o mundo” e tudo que está nele. A teoria de Demócrito não foi bem aceita, encontrando poucos seguidores ao longo dos séculos. No entanto, hoje ela parece uma descrição rudimentar das primeiras fases do Big Bang. A maioria de seus escritos não sobreviveu à idade média.

O átomo descrito pelos filósofos atomistas não tem, absolutamente, nada em comum com o átomo da ciência moderna, que hoje é o fundamento no qual se apóiam a física e a química. Deles herdamos apenas a nomenclatura “átomo” e a idéia que são os constituintes básicos da matéria. A própria nomenclatura já não corresponde à realidade, porque o átomo é divisível.

O UNIVERSO DE PLATÃO E EUDOXUS

Platão viveu entre 427 a.C. e 347 a.C., uma época política bastante conturbada em Atenas. Ele viu com tristeza a “democracia” ateniense, que substituiu a tirania que havia até então governado essa cidade-estado, perseguir Socrates, seu professor e amigo.

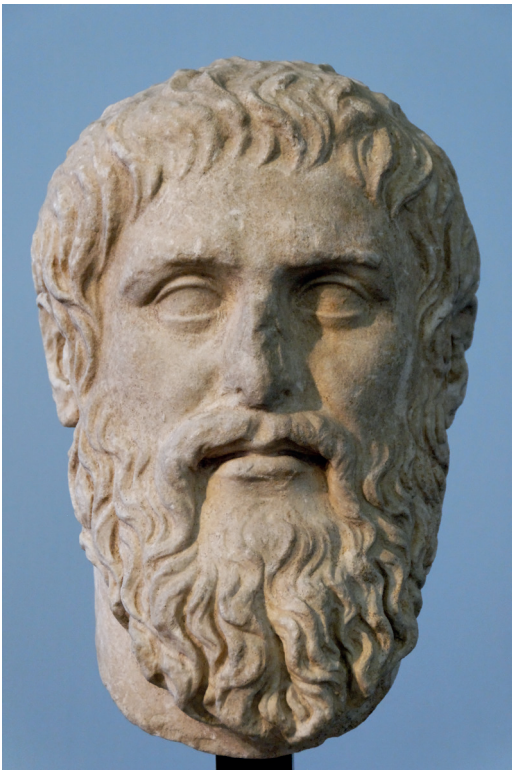
No entanto, foi a restauração da “democracia” em Atenas que levou às primeiras cosmologias especulativas tanto dos filósofos gregos mais antigos como dos clássicos.

Platão foi o primeiro filósofo que formou uma escola, a primeira universidade. Como ela estava no terreno que tinha uma vez pertencido a um lendário grego chamado Academus, o nome dessa escola passou a ser “Academia”.

Platão mostrou sua maneira de entender o mundo à sua volta na sua famosa “alegoria da caverna”: imagine que crianças são acorrentadas desde o nascimento em uma caverna, e devem permanecer quietas olhando em uma única direção. Um fogo aceso atrás delas lança as sombras dos objetos sobre as paredes da caverna que estão a sua frente. Sem terem acesso a qualquer outro tipo de experiência, essas crianças crescerão aceitando as sombras como realidade. Para Platão essa prisão na caverna corresponde à parte do mundo



Demócrito (de Abdera) (entre 460 e 370 a.C.).



Platão (entre 427 e 347 a.C.).

revelada pelos nossos sentidos. Somente o uso da inteligência nos permite escapar dessa caverna e alcançar o mundo real do conhecimento.

Para Platão o tempo teve um início e surgiu junto com o universo em um instante de criação. Para ele o universo foi criado por um “artesão” usando como seu modelo o mundo das formas. O Universo foi criado com arquitetura premeditada por Deus (Dermiugo) a partir de um caos primordial (posição anti-atomista).

Platão acreditava que os corpos celestiais exibiam formas geométricas perfeitas. Baseado nisso ele procurou associar os quatro elementos essenciais de Empédocles à sua concepção do universo baseada nos sólidos regulares considerados perfeitos.

Existem cinco, e somente cinco, sólidos regulares possíveis. Cada um desses sólidos tem faces equivalentes com todas as linhas e ângulos iguais. Todos os seus lados são iguais, seus ângulos são os mesmos e todas suas faces são idênticas. Em cada vértice de tais sólidos vemos o encontro do mesmo número de superfícies. A esses sólidos, perfeitamente regulares, damos o nome de “sólidos Platônicos”. Existem somente cinco sólidos platônicos: o tetraedro, o hexaedro, o octaedro, o dodecaedro e o icosaedro. Para Platão, quatro destes cinco sólidos regulares representavam os quatro elementos, ar, fogo, água e terra. Um deles representava o universo como um todo.

Estes sólidos e suas regularidades foram descobertos pelos Pitagóricos e foram originalmente chamados de “sólidos Pitagóricos”. Mais tarde o filósofo grego Platão os descreveu em detalhes no seu livro “Timaeus” e os associou à concepção Platônica do mundo. Por esse motivo hoje estes sólidos são conhecidos sob o nome de “sólidos Platônicos”.

São os “sólidos platônicos” ao lado:

Platão notou que esses sólidos podem ser construídos a partir de unidades mais básicas como por exemplo, suas faces podem ser construídas a partir de triângulos. Isso fez com que ele sugerisse, baseado nessa geometria, explicações para algumas transformações da natureza. Por exemplo, a água se transforma em vapor porque o icosaedro da água se transformaria em dois octaedros de ar e um tetraedro de fogo.

Eudoxus (de Cnidus)

Foi na época de Platão, século 4 a.C., que surgiu o modelo que descrevia o universo por meio de esferas. Este modelo tornou-se popular e consistia de uma Terra esférica colocada no seu centro, circundada por uma esfera externa formada por estrelas. Entre estas duas esferas os planetas se moviam de um modo não determinado. O “Timeu” escrito por Platão nos mostra que os gregos já distinguiam dois tipos de movimentos descritos pelos corpos celestes. Um deles era o movimento da esfera de estrelas fixas, compartilhado por todos os corpos celestes e o outro eram os movimentos independentes apresentados pelo Sol, Lua e planetas no céu.

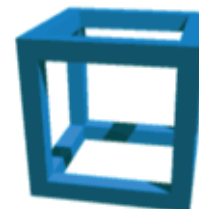
Platão propôs, então, aos seus discípulos a seguinte questão: o que são os movimentos uniformes e ordenados descritos pelos planetas no céu?

A resposta a esta pergunta viria a ser elaborada por Eudoxus (de Cnidus), antigo aluno de Platão.

Eudoxus nasceu entre 408 e 390 a.C. em Cnidus, nas costas do Mar Negro, e morreu aos 53 anos. Ele foi um gênio da matemática, talvez o maior de todos os antigos matemáticos sendo superado apenas por Archimedes muitos anos depois.



TETRAEDRO - corresponde ao fogo e possui quatro lados que são triângulos equiláteros. Ele tem o menor volume para sua superfície e representa a propriedade de secura, falta de chuva.



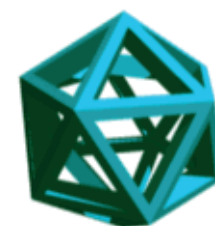
HEXAEDRO - corresponde à Terra estável e possui seis lados que são quadrados. Como o hexaedro (ou cubo) pode permanecer firmemente sobre sua base.



OCTAEDRO - corresponde ao ar e possui oito lados que são triângulos equiláteros. Quando seguro por dois vértices opostos, o octaedro pode girar livremente.



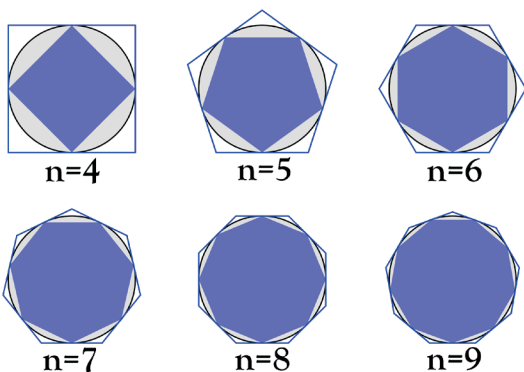
DODECAEDRO - possui 12 lados que são pentágonos equiláteros. O zodíaco é formado por 12 signos, que correspondem às doze faces do dodecaedro. Por esse motivo o dodecaedro corresponde ao universo.



ICOSAEDRO - possui 20 lados que são triângulos equiláteros. Ele tem o maior volume para a sua área superficial. O icosaedro representa a propriedade de umidade, umedecimento e, por conseguinte, corresponde à água.



Eudoxus (de Cnidos) (entre 408 e 355 a.C.).



Método de Exaustão, criado por Eudoxus para determinar a área de uma figura inscrevendo-se nela uma sequência de polígonos cuja soma das áreas resulta na área da figura desejada.

Eudoxus foi o inventor de um método de análise conhecido atualmente como “método da exaustão”. Ele também foi o descobridor do tratamento de quantidades incomensuráveis que está apresentado no quinto livro do grande geômetra grego Euclides.

Aos 23 anos Eudoxus frequentou a academia de Platão em Atenas com o objetivo de estudar filosofia e retórica. Anos mais tarde ele foi para o Egito aprender astronomia em Helopolis. No ano 365 a.C. Eudoxus retornou a Atenas com seus alunos e tornou-se colega de Platão. A astronomia grega alcançou um novo patamar científico, muito mais sofisticado, a partir dos trabalhos de Eudoxus.

Foi Eudoxus (de Cnidos), no século 4 a.C., quem forneceu a primeira importante resposta à pergunta de Platão citada acima. Ele foi o primeiro a propor que o movimento dos corpos celestes podia ser descrito por meio de uma série de esferas transparentes nos céus, que transportavam os corpos celestiais a diferentes velocidades em grupos encadeados, com centros que variavam ligeiramente.

Seu raciocínio era brilhante para a época:

- uma vez que não podemos medir as distâncias às estrelas é bastante razoável supor que elas estão à mesma distância de nós. Deste modo podemos considerar que elas estão situadas sobre uma grande esfera em cujo centro a Terra esférica permanecia em repouso.
- em torno deste centro existiam 27 esferas concêntricas em rotação.
- como não notamos nenhuma variação da distância entre a Terra e a Lua é natural supor que ela está se movendo sobre uma esfera.
- o mesmo ocorria para todos os outros corpos celestes conhecidos. Deste modo, as estrelas, o Sol, a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno estavam fixos a esferas sobre as quais eles se moviam.
- cada planeta exigia 4 esferas concêntricas:
 - ▶ uma para o seu movimento diurno junto com as estrelas fixas: a esfera externa girava com o movimento das estrelas fixas, de leste para o oeste em 24 horas.
 - ▶ uma para variações na longitude: a segunda esfera girava com a inclinação da eclíptica, representando o movimento aparente do planeta ao longo do zodíaco, movendo-se de oeste para leste
 - ▶ uma para variações na latitude
 - ▶ uma para levar em conta o movimento retrógrado

O movimento das duas esferas mais internas descrevia uma figura com a forma do algarismo “8”, figura essa que era conhecida como “hipopédia”. O eixo da terceira esfera era perpendicular ao da segunda esfera, enquanto que o eixo da quarta esfera é ligeiramente inclinado em relação ao eixo da terceira esfera, girando em sentido oposto com a mesma velocidade angular.

O Sol e a Lua pediam apenas três esferas concêntricas cada, uma vez que eles nunca mostravam movimento retrógrado.

- as esferas intermediárias, onde estavam os planetas, giravam com velocidades diferentes em torno de eixos inclinados diferentes.
- para Eudoxus a esfera das estrelas fixas era a mais externa de todas e girava diariamente com velocidade constante.

A grande conquista de Eudoxus foi propor um engenhoso conjunto de esferas que se relacionavam de tal forma que alguns importantes aspectos do movimento planetário eram reproduzidos por este conjunto.

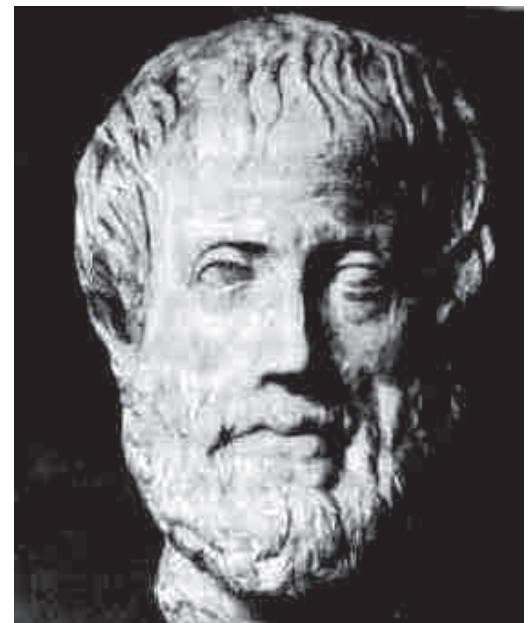
Ao analisar a proposta de movimento dos corpos celestes sobre esferas os astrônomos modernos mostram que Eudoxus tinha condições de supor uma distância constante para o Sol e para as estrelas mas não para a Lua ou para os planetas. A distância ao Sol só foi corretamente deduzida em 1673 pelo astrônomo italiano Cassini. Nem mesmo Copérnico ou Kepler conheciam seus valores corretos. Medir diferenças entre as distâncias às estrelas também estava fora do seu alcance pois a primeira distância a uma estrela só foi medida em 1838. Era razoável supor que o Sol e as estrelas estivessem a uma distância constante da Terra. No entanto, o diâmetro da Lua varia e isto pode ser facilmente observado. A razão entre o maior e o menor diâmetros aparentes é de 1,14 para 1, o que é perfeitamente detectável. Os discos dos planetas, que poderiam mostrar uma variação de distância à Terra, são difíceis de serem observados. No entanto Marte mostra uma variação de brilho muito intensa quando está mais próximo ou mais afastado da Terra. Marte chega a ser 25 vezes mais brilhante quando está mais próximo do nosso planeta. Esta observação levaria à conclusão de que a distância aos planetas é variável.

Por que Eudoxus fez esta suposição? Ninguém sabe e talvez jamais consiga saber. Todos os escritos de Eudoxus foram destruídos e o que conhecemos sobre ele provém de relatos feitos por outros filósofos ou historiadores da época.

O mais importante é que Eudoxus foi o primeiro a propor um modelo deste tipo, com esferas concêntricas, e que foi adotado por muitos filósofos do seu tempo.

Para fazer com que essas “esferas celestiais” agissem mais de acordo com o que pode ser observado no céu arranjos ainda mais complexos do que o proposto por Eudoxus foram necessários. Seu modelo foi melhorado por Callippus que logo viu a necessidade de serem introduzidas mais esferas. Mais tarde, no século 4 a.C., Aristóteles acreditou que tinha resolvido o problema de certos movimentos anômalos introduzindo algumas “esferas retrógradadas”. O modelo de Aristóteles exigia não menos do que 55 esferas transparentes.

No entanto, todas essas adições feitas ao modelo de Eudoxus não conseguiam explicar porque os astros variavam suas luminosidades, um fenômeno facilmente observável.



Aristóteles (entre 384 e 322 a.C.).

O universo de Aristóteles

Aristóteles, que foi aluno de Platão, nasceu em Stagira, Macedônia, e viveu no período entre 384 e 322 antes de Cristo.

Aproximadamente no ano 335 a.C. Aristóteles fundou a sua própria escola de Filosofia Natural, o “Liceu”, em Atenas.

Ao contrário de Platão, Aristóteles prestava muita atenção aos resultados das observações e das experiências de outros filósofos.

A filosofia de Aristóteles envolvia o estudo *qualitativo* de todos os fenômenos naturais. Para ele isto devia ser feito sem o auxílio da matemática uma vez que ela era considerada “perfeita” demais para ter aplicação a uma esfera terrestre imperfeita.

Aristóteles acabou sendo o mais famoso e mais influente dos filósofos iniciais gregos. Sua Filosofia Natural foi incorporada nos escritos de Tomás de Aquino e se tornou o fundamento da doutrina Católica e da instrução universitária na época medieval.

O trabalho cosmológico de Aristóteles chamava-se “Sobre os Céus”. Este é o mais influente livro deste tipo em toda a história da humanidade tendo sido

aceito por mais de 18 séculos, desde a sua criação por volta de 350a.C. até os trabalhos de Copernicus no início dos anos 1500.

No seu texto “Sobre os Céus”, Aristóteles discute a natureza geral do cosmos e certas propriedades de corpos individuais.

Segundo Aristóteles a Terra, assim como todos os corpos, era composta de 4 elementos:

TERRA ÁGUA AR FOGO

Cada um destes elementos procurava o seu lugar natural no Universo. Desse modo:

- corpos feitos de terra caem na Terra
- a chuva cai do céu, se deslocando através dos arroios, para os córregos, para os rios e finalmente para o mar

No seu livro “Metafísica” Aristoteles desenvolveu uma filosofia cuja descrição do universo era baseada em esferas. Na verdade (embora Aristoteles negasse o uso da matemática em cosmologia) ele se apoiava na astronomia matemática desenvolvida por Eudoxus e Callipus. No sistema cosmológico aristotélico, a Terra esférica e “imperfeita” estava situada no centro do Universo (visão geocêntrica). Lembre-se que nesta época o Universo era apenas o Sistema Solar.

Aristóteles adotou o sistema de esferas concêntricas proposto por Pitágoras para descrever os planetas, mas deduziu que a Terra devia estar imóvel. A Terra não gira em torno de qualquer outra coisa nem gira em torno do seu eixo.

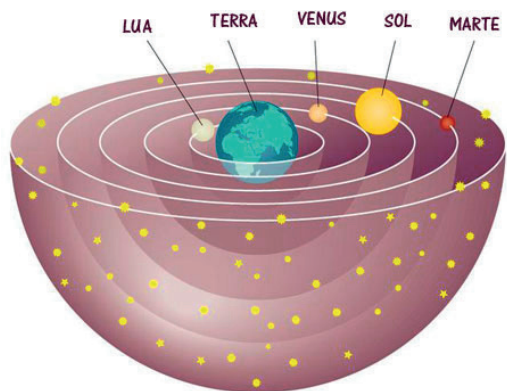
A Terra é circundada por 11 esferas concêntricas feitas de um “quinto elemento” inalterável, uma substância perfeitamente transparente conhecida como “quintessência” ou “éter”. As três primeiras esferas contém água, ar e fogo. As outras 8 esferas “seguram” os corpos celestes conhecidos na época: a Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno e as estrelas. As estrelas são fixas, não se movem. O “Reinado dos Céus” está localizado além da décima esfera. Cada uma dessas esferas concêntricas é movimentada por um deus.

Curiosamente, Aristóteles afirmava que o universo não surgiu em um ponto mas sim que ele tinha existido, inalterado, por toda a eternidade. Isso tinha que ser assim porque ele era “perfeito”. Deste modo Aristóteles estabelecia um cenário de “estado estacionário” para o universo. Mais ainda, como ele acreditava que a esfera era a mais perfeita de todas as formas geométricas, o universo tinha um centro, que era a Terra, e sua parte “material” tinha uma borda que era “gradual”, começando na esfera lunar e terminando na esfera das estrelas fixas. Depois da esfera das estrelas o universo continuava para dentro do domínio espiritual onde as coisas materiais não podiam estar.

Aristóteles acreditava, assim como Pitágoras, que a Terra, o Sol, a Lua e os planetas deviam ser esferas. Entretanto, Aristóteles diferia de Pitágoras por basear a sua suposição de uma Terra esférica em fenômenos capazes de serem observados.

Aristóteles propôs 4 provas observacionais de que a Terra era uma esfera:

- Os navios desaparecem lentamente no horizonte
- Durante os eclipses lunares a sombra lançada sobre a Lua pela Terra parece circular
- Estrelas diferentes são visíveis em latitudes mais ao norte e mais ao sul. Ele notou que, à medida que uma pessoa viaja para o norte, as estrelas polares se colocam cada vez mais alto no céu e outras estrelas vão se



tornando visíveis ao longo do horizonte. Isto só poderia acontecer se a Terra fosse esférica.

- Elefantes são encontrados tanto na Índia, que estava na sua direção leste, como no Marrocos, na sua direção oeste. Sua ideia era que ambos as regiões estão a uma distância razoável na superfície de uma esfera de tamanho moderado.

Embora Aristóteles considerasse a possibilidade, ele rejeitou a ideia de uma Terra em órbita por causa da ausência de paralaxe detectável. A paralaxe só foi provada pela primeira vez em 1838 por Bessel.

A proposição fundamental da filosofia de Aristóteles era: “não há efeito sem causa”. Para ele força = resistência \times velocidade, compreensível naquela época e que explicava porque uma carroça podia ser puxada por um boi. Como conclusão desse pensamento “não existe vácuo!” A razão é que, no vácuo, mesmo uma pequeníssima força produziria velocidade infinita na ausência de resistência.

Aristóteles também rejeitava a descrição da matéria por meio de átomos ou seja, a visão atomística de Leucippus e Democritus.

O universo dos estóicos

Zeno (ou Zenão) (333 a.C.-264 a.C.) nasceu em Citium, ilha de Chipre [não confundi-lo com Zeno (de Elea) que pertenceu à escola eleática]. Também chamado “o fenício”, chegou a Atenas ainda jovem, onde passou toda sua vida, embora nunca tenha se tornado cidadão ateniense. Estudou em várias escolas filosóficas, e por volta de 308 a.C. fundou a escola estóica de filosofia.

Zeno ensinava a seus discípulos em lugares públicos, particularmente na chamada “stoa poikile” (varanda pintada), localizada na ágora, ou mercado de Atenas. As “stoas” eram comuns nas cidades e santuários gregos. Eram construções com uma fachada de colunas na frente. A “stoa” fornecia espaço onde magistrados, comerciantes e outros cidadãos exerciam suas profissões. Também eram utilizadas como galerias de arte, para atividades religiosas, além de local público.

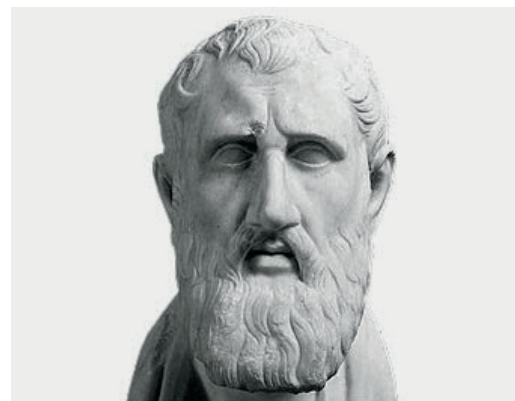
A “stoa poikile” recebeu este nome por causa das pinturas exibidas em suas paredes, que retratavam as vitórias militares atenienses, como por exemplo, na batalha de maratona. Além das pinturas, escudos espartanos capturados pelos atenienses também estavam expostos.

Nenhum trabalho de Zeno sobreviveu até os dias de hoje. O estoicismo é uma doutrina filosófica que propunha “viver conforme a lei racional da natureza” e recomendava “indiferença (apathea) em relação a tudo que é externo ao ser”. Acreditavam em destino. Tudo estava predestinado. A mente era governada pelo universo, uma entidade viva, estrelada e finita. Para além do cosmo existia o vazio. Também acreditavam que o cosmo pulsava lentamente e periodicamente passava por eventos catastróficos, num ciclo eterno. Argumentavam que “logos” era o princípio ativo de toda a realidade. O “logos” era um meio de acesso ao poder divino que, em essência, ordenava e dirigia o universo. A razão e a alma humanas estavam subordinadas ao “logos”, sendo imortais, devido à reciclagem contínua.

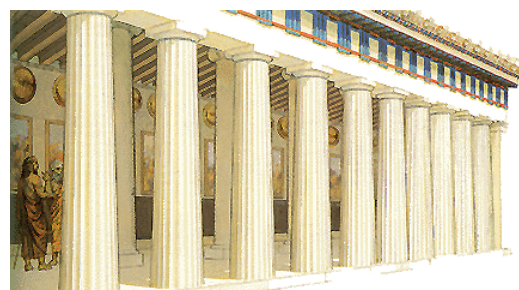
A visão cosmológica dos estóicos teve influência por cerca de 2000 anos, servindo de base para o universo vitoriano do século 19.

A ESCOLA DE ALEXANDRIA

No ano 336 a.C. Alexandre o Grande (imagem a seguir), com apenas 20 anos, tornou-se rei do pequeno estado grego da Macedônia. Ele viria a se tornar um dos maiores líderes militares do mundo antigo.



Zeno (ou Zenão) (entre 333 e 264 a.C.).



Stoa poikile, edificação onde Zeno ensinava a seus discípulos.



Alexandre o Grande (entre 356 a.C. e 323 a.C.).



Aristarcos (de Samos) (século 310 a.C. e 230 a.C.).

No ano 331 a.C., as tropas de Alexandre o Grande invadiram a região que hoje é conhecida como Egito. Após conquistá-la Alexandre fundou uma cidade cujo nome o homenageava, Alexandria.

Ao contrário de outros conquistadores de sua época, Alexandre o Grande era um homem culto. Ele havia sido educado por Aristóteles e isto foi decisivo na maneira como foram tratadas as culturas dos povos submetidos ao seu domínio.

O desenvolvimento da região de Alexandria foi muito grande. O comércio era intenso e, com o acúmulo de riquezas, a cidade prosperou tanto economicamente como culturalmente.

Foi em Alexandria que o mundo antigo viu a construção de enormes museus e bibliotecas. A intensidade da vida cultural nesta região fez com que a cidade de Alexandria se tornasse a capital da erudição de todo o mundo antigo.

Certamente isto atraiu a atenção dos estudiosos da época que viram em Alexandria uma boa oportunidade para desenvolverem seus trabalhos. Nos séculos que se seguiram a maioria dos grandes estudiosos da região Mediterrânea deslocou-se para lá a fim de realizar seus trabalhos filosóficos-científicos.

Os pensadores gregos também participaram desta emigração. Foi em Alexandria que muitos pesquisadores gregos desenvolveram seus trabalhos mais importantes.

Um dado importante é que estes trabalhos, em geral, ficavam armazenados na grande biblioteca que havia sido construída em Alexandria. Entretanto tudo isto foi perdido quando um incêndio de enormes proporções destruiu a cidade no século 4 da nossa era. Todo o acervo da biblioteca foi destruído. Trabalhos que representavam a vida inteira de vários filósofos desapareceram. Esta foi uma das maiores tragédias já ocorrida na ciência, principalmente para aqueles que se interessam pela história do pensamento.

Os grandes filósofos da Escola de Alexandria foram Aristarcos, Erastotenes, Hiparcus e Ptolomeus.

Aristarcos (de Samos) (século 3 a.C.)

Aristarcos viveu no período entre ~310 e 230 antes de Cristo. Ele foi uma voz solitária na ilha grega de Samos e é o primeiro astrônomo famoso do conjunto de filósofos naturais que formaram a Escola de Alexandria.

Geralmente dá-se a Aristarcos o crédito de ter sido o primeiro a propor várias ideias importantes para a astronomia.

Tudo indica que Aristarcos foi o primeiro astrônomo a realmente acreditar em um modelo heliocêntrico (o Sol no centro) para o universo. Isto nos é contado por Arquimedes no seu livro “Psammites” onde ele descreve a teoria de Aristarcos, ou seja, que o Sol e as estrelas estão em repouso e que a Terra gira em um movimento circular com o Sol ocupando o centro do círculo.

Baseado no sistema heliocêntrico, ele supôs que o movimento diário das estrelas era devido à rotação da Terra.

Além disso, Aristarcos criou métodos bastante engenhosos para estimar as distâncias e os tamanhos relativos do Sol, da Lua e da Terra. Embora estas estimativas não tenham a precisão a que estamos acostumados hoje, elas representaram um importante avanço para a astronomia por terem produzido conhecimentos sobre o Sistema Solar que hoje sabemos serem verdadeiros. Por exemplo, as medições de Aristarcos mostraram que o Sol é muito maior do que a Terra, que a Lua é muito menor que o nosso planeta e que o Sol está muito mais afastado de nós do que a Lua.

Aristarcos concluiu que o Sistema Solar deveria ser heliocêntrico, a partir de suas estimativas geométricas dos tamanhos e distâncias relativas entre a Terra, a Lua e o Sol.

Os métodos geométricos de Aristarco eram bastante corretos. Os erros introduzidos são devidos ao fato de que as observações do instante *exato* do primeiro e terceiro quarto da Lua e da duração do eclipse lunar, necessários para os seus cálculos, estavam muito além da capacidade instrumental de sua época.

Por volta do ano 270 a.C. Aristarco estava atarefado tentando calcular o tamanho do Sol e da Lua assim como a distância desses corpos à Terra. Aristarco calculou que o Sol está, aproximadamente, 20 vezes mais afastado de nós do que a Lua. Além disso, ele calculou que o Sol é cerca de 20 vezes maior do que a Lua e 10 vezes maior do que a Terra.

Por ter deduzido que o Sol era muitíssimo maior do que a Lua, ele concluiu que a Terra deveria, por conseguinte, girar em torno do Sol.

Aristarco acreditava que a Terra estava em órbita em torno do Sol, muito ao contrário do que é evidente para qualquer um ver. Houve uma tentativa, que levou a nada, de fazer Aristarco ser processado por irreverência. Sua ideia se junta a várias outras noções arrojadas e estranhas que estimulam a história do pensamento humano. Até mesmo Copernicus mencionou esse heliocentrismo em um antigo rascunho de seu importante livro, e citou Aristarco como aquele que teve a ideia correta primeiro mas, após refletir, Copernicus tirou o nome de Aristarco das versões posteriores do texto.

Infelizmente quase todo o trabalho de Aristarco foi perdido no grande incêndio de Alexandria que arrasou a fabulosa biblioteca que existia nesta cidade, destruindo todos os registros da ciência e cultura gregas que estavam arquivados nela. Um dos poucos trabalhos de Aristarco que sobreviveu é sobre as medições dos tamanhos do Sol e da Lua, assim como de suas distâncias à Terra. Todas as descobertas de Aristarco que conhecemos estão no livro de astronomia escrito por ele, “*Peri megethon kai apostematon heliou kai selenes*” (Sobre os tamanhos e distâncias do Sol e da Lua). Este é o mais antigo tratado completo sobre um assunto astronômico que chegou até nós vindo da Grécia antiga.

Em reconhecimento às realizações de Aristarco, uma cratera na lua possui o seu nome.

Eratóstenes (de Cirene)

O matemático e geógrafo Eratóstenes viveu no período entre 276 e 197 (ou 192 ou 194 ou 195) antes de Cristo.

Entre as várias realizações científicas de Eratóstenes destaca-se o desenvolvimento de um mapa do mundo, um método para encontrar números primos, chamado “A peneira de Eratóstenes”, e a estimativa do tamanho da circunferência da Terra.

Na época de Eratóstenes, o tamanho da Terra ainda era um problema central.

O TAMANHO E A FORMA DA TERRA

Para nós, após termos acumulado milhares de anos de ciência e informações, pode parecer estranho que tanto tempo tenha passado sem que os filósofos naturais gregos, tão sábios na sua época, tivessem conseguido determinar o tamanho e a forma da Terra. O erro está em olhar criticamente para o passado do alto de tanto conhecimento. Transporte-se para a época em que eles viveram e tente, somente com a geometria, resolver este problema.

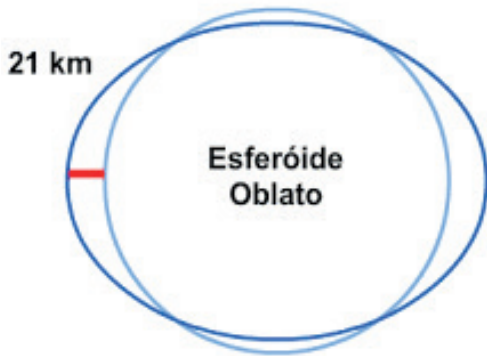
Conhecer o tamanho e a forma do nosso planeta era vital para o desenvolvimento da astronomia. O primeiro vestígio de que a Terra não era plana veio dos navegadores. Em terra firme, as irregularidades da superfície mascaram



Eratóstenes (de Cirene).



Representação da forma da Terra.



a curvatura da Terra. No entanto, em alto-mar, quando este está bem calmo, esta curvatura é perfeitamente notada ao vermos que um navio que se afasta misteriosamente desaparece abaixo do nível do mar no horizonte distante. Mas isto poderia nos levar a imaginar que a Terra tem a forma de um cilindro. No entanto, este fenômeno ocorre em todas as direções, o que nos faz supor que a Terra é redonda.

Este argumento aparece por escrito, pela primeira vez, nos textos de Strabo, cerca de 10 a.C., embora ele diga que isto já era conhecido por Homero. Mesmo assim os antigos ainda podiam argumentar que somente uma parte pequena da Terra havia sido explorada e, portanto, somente esta parte seria esférica. As partes remotas poderiam ter outra forma.

Hoje, ninguém mais pode ter dúvidas sobre a forma da Terra. Ela não é perfeitamente esférica uma vez que o diâmetro de um pólo ao outro é 42 quilômetros menor do que o diâmetro no equador. No entanto, é errado dizer que a Terra tem a forma de uma tangerina. O diâmetro da Terra no equador é de cerca de 6500 quilômetros e a diferença de 42 quilômetros não significa muita coisa a não ser que a Terra é muito menos achatada do que qualquer tangerina ou parente dela.

As medições mais recentes, bastante precisas e delicadas feitas principalmente por satélites artificiais, mostram que o nosso planeta tem uma forma que se assemelha, **muito ligeiramente**, a uma pêssego. Mas, cuidado ao afirmar isto. A Terra não tem a forma de uma pêssego! Se quiser ser técnico, diga que a Terra tem a forma de um esferóide oblatado.

É importante lembrar que o conhecimento de que a Terra era redonda não foi perdido nos séculos seguintes. Assim, nem Vasco da Gama, nem Cristóvão Colombo, nem Pedro Álvares Cabral, nem qualquer outros dos grandes navegadores ou qualquer dos seus contemporâneos com cultura, tinham medo de cair da borda da Terra durante suas viagens para o oeste na tentativa de achar um caminho marítimo para as Índias.

Hiparcos

Hiparcos viveu no período entre 190 e 120 antes de Cristo.

Somente um dos vários trabalhos feitos por Hiparcos sobreviveu: seus comentários sobre Aratus e Eudoxus onde ele apresenta alguns dados numéricos interessantes sobre astronomia.

Tudo indica que Hiparcos compilou um catálogo de estrelas. O historiador Plínio nos diz em sua “História Natural”, escrita no primeiro século depois de Cristo, que, por ter visto uma “estrela nova”, Hiparcos começou a “enumerar as estrelas para a posteridade”. Esta “estrela nova” que Hiparcos viu, provavelmente foi um cometa que apareceu em 134 a.C. e retornou em 124 a.C. A passagem deste cometa também foi registrada pelos astrônomos chineses.

Mais informações sobre os trabalhos de Hiparcos somente foram obtidas a partir do “Almagesto” escrito por Ptolomeus aproximadamente no ano 160 de nossa era.

Uma das ideias brilhantes de Hiparcos lhe ocorreu ao observar que o Sol se move irregularmente ao longo da eclíptica. Ele notou que o deslocamento do Sol nos céus é gradualmente mais rápido e mais lento ao longo do ano e que ele alcança sua maior velocidade sempre na mesma época do ano. Para explicar isto Hiparcos considerou que o centro da órbita circular do Sol em torno da Terra não estava no nosso planeta e sim em um ponto diferente. Isto significa que Hiparcos foi, provavelmente, o primeiro cientista a considerar uma órbita excêntrica em um sistema orbital.

Hiparcos também foi o primeiro a determinar a distância entre a Terra e a Lua ao comparar as observações de um eclipse solar que ocorreu em Cirene e em Alexandria.



Hiparcos (entre 190 a.C. e 120 a.C.).

Claudius Ptolomeus

Ptolomeus viveu e trabalhou em Alexandria, no Egito, no século 2, tendo sido matemático, geógrafo, e astrônomo. Não se sabe muito bem as datas de seu nascimento e de sua morte. Pode ser que ele tenha vivido no período entre ~ 85 e 165, ou de ~ 100 a 170 depois de Cristo. Tem-se uma ideia da época em que ele viveu a partir das observações que ele diz ter realizado no período entre 127 e 141 depois de Cristo.

Vários trabalhos importantes foram desenvolvidos por Ptolomeus. Um deles foi o texto “Geografia” que permaneceu como o principal trabalho neste campo até a época de Colombo.

Ptolomeus realizou várias experiências em óptica e notou que a luz estelar é refratada na atmosfera da Terra.

Ptolomeus é um dos grandes sintetizadores da história. Em vários importantes campos, tais como cosmologia, astronomia e geografia, Ptolomeus reuniu, de forma enciclopédica em vários livros, um relato da sabedoria reconhecida de seu tempo.

A enorme influência de Ptolomeus vem do fato dos trabalhos de seus predecessores terem sido destruídos em Alexandria enquanto que os seus sobreviveram. As realizações deles são conhecidas somente por meio do discurso de Ptolomeus e, de modo interessante, quando Ptolomeus discorda com os outros filósofos usualmente é ele que está errado. Assim como na astronomia ele erroneamente ajusta o grau de precessão de Hiparcus, também na geografia ele rejeita os cálculos muito precisos de Eratóstenes sobre a circunferência da Terra e prefere usar uma estimativa que é cerca de 30% menor do que o valor dado por Eratóstenes.

O Almagesto

O mais importante trabalho astronômico de Ptolomeus é conhecido como “Almagesto”. Este grande compêndio de astronomia, escrito por volta do ano 150, é uma valiosa história das observações e pensamentos dos antigos astrônomos.

O título original da obra de Ptolomeus era “*Mathematike syntaxeos biblia 17*” (Compêndio matemático em 13 volumes).

O tratado matemático de Ptolomeus se tornou conhecido como *Ho megiste astronomas*, termo grego que quer dizer “o maior de todos os astrônomos”, ou simplesmente *Megiste* (“o maior de todos”).

Os árabes traduziram este texto e acrescentaram a ele o artigo “al”, equivalente ao artigo definido “o” em português. O uso de “al” também aparece em muitas outras palavras de origem árabe tais como *álgebra* e em vários nomes de estrelas como por exemplo, *Aldebaran*. Assim, o texto de Ptolomeus ficou sendo conhecido pelos árabes como *Al Megiste* (O Megiste). Já na idade média esse livro alcançou o norte da Europa levado pela civilização árabe existente na Espanha. Ao ser traduzido do árabe para o latim medieval esse livro adquiriu seu título final, *Almagesto*. Assim, a palavra “Almagesto” é uma corrupção árabe de “Megiste syntaxeos” (O maior compêndio) como também era conhecida a obra de Ptolomeus.

O trabalho astronômico de Ptolomeus, o “Almagesto”, é um conjunto de 13 livros cuja tradução moderna chega a 500 páginas. Este trabalho incluía elementos de astronomia esférica, teorias solar, lunar e planetária, além de falar de eclipses e das estrelas fixas. O primeiro desses livros prova que a Terra é o centro imóvel do Universo. Os últimos cinco descrevem o movimento do Sol, Lua e cinco planetas cada um associado a sua própria esfera de cristal. Adicionando ajustes para refletir o comportamento errático visto no céu, Ptolomeus



Ptolomeus.



Esta impressionante imagem de Ptolomeus é uma escultura em madeira que está na catedral de Ulm, na Alemanha.

completou com êxito um sistema capaz de satisfazer a indagação científica nos séculos não científicos da Idade Média.

Para Ptolomeus, o céu não era constituído de rocha, metal ou qualquer outro material terrestre. Para ele o cosmos era feito de algum material celestial divino que não oferecia qualquer obstrução à passagem de uma parte do céu para outra.

O *Almagesto* permaneceu por aproximadamente 1500 anos como o texto definitivo sobre astronomia. A imagem abaixo mostra uma página do livro VI, capítulo 7, de uma tradução latina do *Almagesto* feita por volta de 1451 por George Trebizond. O desenho aqui mostrado é parte do cálculo da duração de eclipses solares e lunares. Como era costume na época, esta tradução do *Almagesto*, um manuscrito bastante elaborado onde as figuras são apresentadas em várias cores, foi dedicado pelo filho de George Trebizond, Andreas, ao Papa Sixtus IV.

A COSMOLOGIA DE PTOLOMEUS

A cosmologia descrita no *Almagesto* inclui cinco pontos principais, sendo cada um deles assunto de um capítulo do Livro 1 da coleção de 13 volumes que compõe esse tratado. Esses são os principais pontos:

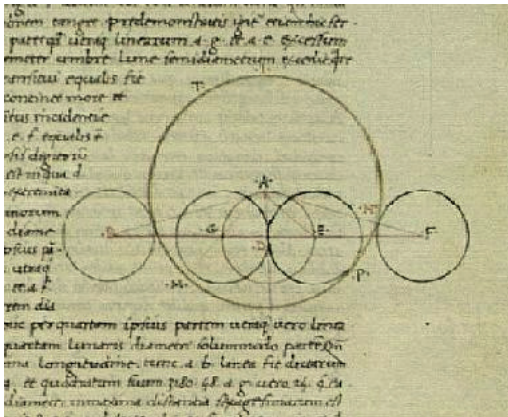
- o domínio celeste é esférico e se move como uma esfera
- a Terra é uma esfera
- a Terra está no centro do cosmos
- a Terra, em relação à distância das estrelas fixas, não tem tamanho apreciável e deve ser tratada como um ponto matemático
- a Terra não se move

Para provar essas hipóteses Ptolomeus desenvolveu o mais sofisticado modelo matemático até então conhecido para descrever os movimentos dos planetas no Sistema Solar.

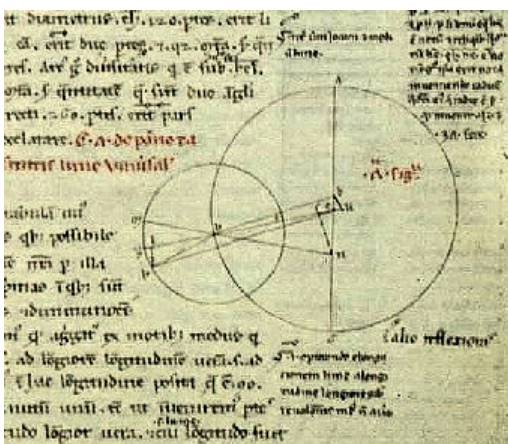
As ideias de Aristóteles tinham um problema observacional: o movimento retrógrado dos planetas. O modelo desenvolvido por Ptolomeus era muito complexo uma vez que ele pretendia descrever detalhes dos movimentos planetários. Como o seu trabalho estava baseado no modelo geocêntrico (a Terra no centro) e no princípio do movimento circular perfeito foi necessário usar ciclos (*epiciclos*) em órbitas circulares fora do centro (*excêntricas*), o que o fez introduzir o conceito de “deferente”.

Mais tarde Ptolomeus introduziu um refinamento em sua teoria. Ele passou a fazer uso do “excêntrico” que para cada planeta era o centro de seu movimento e não mais a Terra. Ele também introduziu o “equante” para cada planeta mover-se uniformemente. No entanto, é preciso esclarecer que nenhum desses conceitos geométricos (epiciclo, deferente) foi criado por Ptolomeus. Foi Apollonius (de Perga) (~262 a.C. - ~347 a.C.) o introdutor do deferente, epiciclo e deferente excêntrico na astronomia. No *Almagesto* Ptolomeu usou os conceitos criados por Apollonius sobre o modelo matemático do movimento do Sol e da Lua que havia sido criado por Hipparchus no século 2 a.C.

Segundo Ptolomeus, as “esferas” descritas no seu modelo giravam porque esse era o movimento natural delas. Ele acreditava que era adequado atribuir movimento circular uniforme aos planetas porque desordem e não uniformidade eram contrários às coisas divinas. Para ele o estudo da astronomia, por tratar com coisas divinas, era especialmente útil para elevar a alma do homem.



Página do livro VI, Capítulo 7 do *Almagesto*.



A imagem anterior pertence ao Almagesto de Ptolomeus e nos revela a estrutura que acabamos de descrever acima. Ela é parte do Livro X, capítulo 7, de uma tradução feita do árabe para o latim em 1175 por Gerard de Cremona na Espanha. A imagem do texto ilustra o modelo cinemático usado por Ptolomeus para descrever o movimento dos planetas superiores ou seja, Marte, Júpiter e Saturno. De acordo com este modelo geocêntrico, a Terra está em repouso no ponto designado pela letra (e) e os planetas se movem uniformemente em relação a um ponto (r). Este último ponto está separado do centro das esferas planetárias que é o ponto (d). Esta estrutura engenhosa é capaz de prever trajetórias dos planetas no céu que se aproximam bastante daquelas resultantes das órbitas elípticas nas quais os planetas realmente se movem.

Certamente não é fácil ver os pontos citados acima na figura do Almagesto. Vamos então explicar melhor como Ptolomeus descrevia o seu universo.

Segundo Ptolomeus a Terra era esférica, estacionária e muito pequena em relação à esfera celeste. Para ele as estrelas eram pontos fixos de luz dentro da esfera celeste.

A noite e o dia resultavam da rotação do sistema celeste inteiro em torno da Terra, que permanecia fixa e sem rotação.

Na descrição proposta por Ptolomeus os planetas se deslocavam sobre pequenas trajetórias circulares, chamadas **epíclios**. Os centros destes epíclios se moviam em torno da Terra em outras trajetórias circulares que eram chamadas de **deferentes** (imagem ao lado).

O primeiro ponto importante a notar nesta figura é que a Terra não é o centro do deferente. Para justificar a variação da velocidade dos planetas durante o seu movimento “para a frente” Ptolomeus tirou a Terra do centro do círculo orbital criando, deste modo, um círculo excêntrico. Como consequência disto o planeta pareceria se deslocar mais rapidamente quando estava mais próximo da Terra.

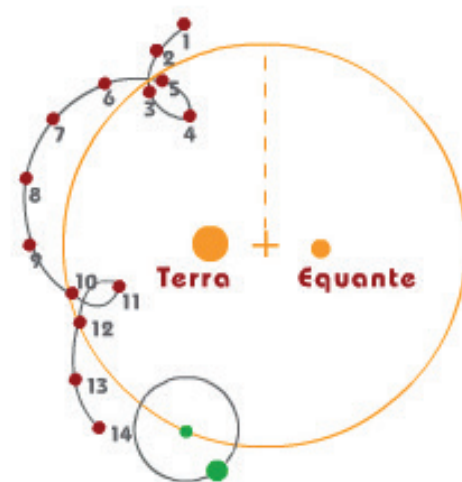
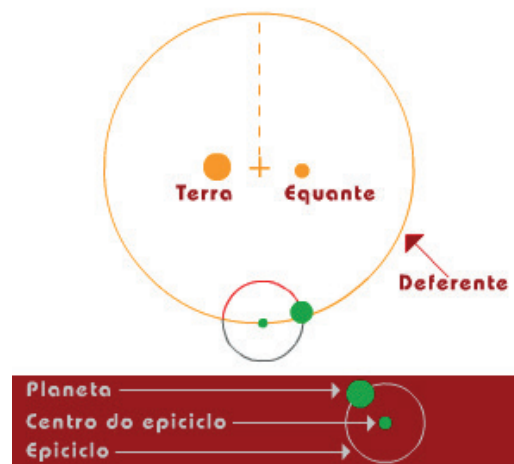
O centro do epíclio se desloca no sentido contrário aos ponteiros de um relógio sobre o deferente. O planeta também se move no sentido anti-horário sobre o seu epíclio.

O epíclio e a excêntrica não eram completamente adequados para reproduzir corretamente a variação no tamanho dos movimentos retrógrados. Por esta razão Ptolomeus introduziu o equante. O equante é um lugar geométrico de movimento angular uniforme que está dentro do deferente e se situa a uma distância igual e oposta à posição da Terra. A velocidade do epíclio é uniforme em relação ao equante.

Isto faz com que o epíclio, observado da Terra, pareça se mover mais rapidamente no perigeu, quando ele está mais próximo da Terra e mais afastado do equante. Podemos dizer que a introdução do equante para descrever os movimentos planetários foi uma das maiores descobertas de Ptolomeus.

A combinação dos movimentos planetários ao longo dos epíclios e deferentes produz o passeio observado dos planetas entre as estrelas, incluindo o movimento retrógrado.

A imagem ao lado mostra o movimento combinado do planeta sobre o epíclio e do centro do epíclio sobre o deferente. O movimento sobre o deferente na figura é feito de modo crescente, da direção do ponto 1 ao ponto 14. O deslocamento do planeta no seu epíclio faz com que ele descreva uma figura geométrica, chamada ciclóide, sobre o deferente. Vê-se claramente que quando o planeta se desloca nas regiões entre os pontos 3-4-5 ou 10-11-12 ele parece se movimentar no sentido contrário para um observador colocado na Terra. A isto damos o nome de movimento retrógrado do planeta.



O sistema proposto por Ptolomeus para descrever os movimentos planetários funcionava muito bem para os planetas superiores conhecidos na época ou seja, Marte, Júpiter e Saturno, e também para Vênus. No entanto, ele não conseguia se adequar às observações de Mercúrio o que fez com que Ptolomeus apresentasse um modelo bastante complicado para explicar a órbita deste planeta. Esta é uma das razões pela qual o modelo de Ptolomeus estava errado mas, infelizmente, ele foi adotado por cerca de 1400 anos.

A tabela abaixo mostra como Ptolomeus via a ordenação dos planetas e o Sol no Sistema Solar.

A ordenação dos planetas e do Sol segundo Platão e Ptolomeus		
segundo Platão	segundo Ptolomeus	a ordenação atual
Lua	Terra	Sol
Sol	Lua	Mercúrio
Mercúrio	Mercúrio	Vênus
Vênus	Vênus	Terra
Marte	Sol	Marte
Júpiter	Marte	Ceres*
	Júpiter	Júpiter
	Saturno	Saturno
		Urano
		Netuno
		Plutão*
		Eris*

(*) a partir de 2006 considerado planeta anão pela classificação estabelecida pela União Astronômica Internacional (IAU).

Em termos práticos o sistema de Ptolomeus se mostrou adequado para propósitos diários. Na verdade sua própria complexidade o tornou atraente para a minoria de homens letrados que existiam em sua época. Os detalhes podiam ser duros de aprender, porém uma vez compreendidos eles tinham condições de revelar as futuras posições dos planetas. O próprio Ptolomeus preparou cartas do comportamento da Lua, mais precisas do que qualquer uma disponível anteriormente, as quais permaneceram em uso diário até a Renascença.

Como vimos, no *Almagesto* Ptolomeus elaborou sistemas geométricos que descreviam movimentos compostos sobre círculos bidimensionais. Seu objetivo era justificar os movimentos celestes já observados. Mais tarde Ptolomeus escreveu um novo livro (Hipóteses planetárias) usando conchas esféricas ocas tridimensionais em vez da estrutura bidimensional apresentada no *Almagesto*. Essas conchas esféricas localizavam-se umas dentro das outras e circundavam a Terra. Não havia espaço vazio entre elas. A espessura de cada concha permitia a existência de pequenos movimentos tanto de aproximação como de afastamento em relação à Terra. A própria concha esférica em rotação é que transportava ou o Sol ou a Lua em sua órbita em torno da Terra. Foi George Peurbach quem descreveu este modelo do universo de Ptolomeus no seu livro *Theoricae novae planetarum*, publicado em 1553.

Mas no fim das contas a complexidade apresentada pelo modelo de Ptolomeus não era convincente. A alternativa proposta por Copernicus seria mais simples. Além disso os satélites orbitando em torno de Júpiter, revelados pelo telescópio de Galileu, iriam despedaçar uma das esferas de cristal de Ptolomeus.

Ptolomeus: uma fraude científica?

O pesquisador R. R. Newton é um feroz crítico do “Almagesto” de Ptolomeus. Ele escreveu vários artigos de pesquisa e um livro chamado “The Crime of Claudius Ptolemy” (O crime de Claudius Ptolomeus) nos quais afirma que todas as observações que Ptolomeus diz ter realizado no Almagesto e muitas atribuídas por ele a outros astrônomos foram ou inventadas ou modificadas com o objetivo de reproduzir os resultados que ele queria obter.

Os argumentos apresentados por R. R. Newton são muito fortes e ele aponta evidências difíceis de serem rebatidas.

Não descreveremos estes argumentos aqui por serem bastante técnicos. Apenas podemos dizer que o acordo entre a teoria e as observações de Ptolomeus são bons demais para serem verdadeiros. A primeira vista parece que Ptolomeus teria fabricado as observações declaradas por ele.

Possivelmente Ptolomeus coletou um grande número de observações e selecionou entre elas as que melhor se ajustavam com a sua teoria.

O CRISTIANISMO: UMA NOVA MANEIRA DE OLHAR A NATUREZA

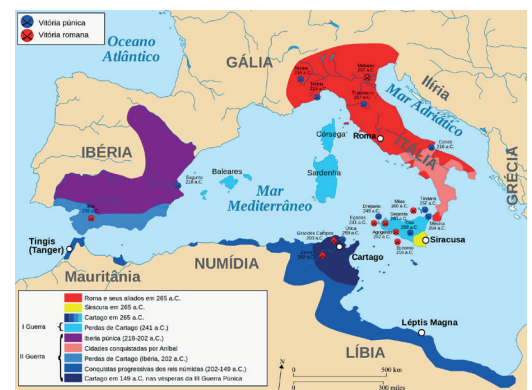
A época mais brilhante da história da ciência ocidental, antes do século XVII, foi, como vimos, o chamado “período da civilização helenística”. Muitas realizações científicas da época moderna dificilmente teriam ocorrido sem as descobertas dos filósofos gregos. Quando a filosofia grega se fundiu com a ciência, já conhecida dos caldeus e egípcios, houve um grande estímulo ao desenvolvimento intelectual. Um outro fator de desenvolvimento científico foi o novo interesse do povo grego pelo conforto, o que o levou à procura de conhecimentos práticos capazes de solucionar os problemas do dia a dia. E esse conhecimento exigia o desenvolvimento da astronomia, física e matemática.

Ao mesmo tempo em que a civilização grega florescia também crescia a civilização romana. Não vamos aqui discuti-la, mas apenas para situar datas, em 265 a.C. Roma já havia conquistado e anexado toda a Itália (compare as datas aqui apresentadas com o que ocorreu em termos de desenvolvimento intelectual na Grécia). Logo Roma envolveu-se nas chamadas “guerras púnicas” com a cidade-estado Cartago derrotando-a totalmente (após três guerras) em 146 a.C. Como o rei da Macedônia havia sido aliado de Cartago, Roma invadiu e ocupou toda a Grécia.

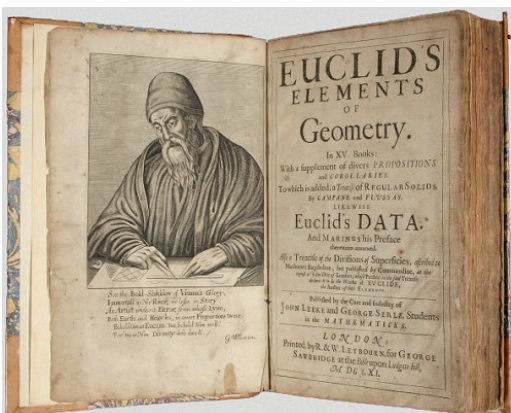
Roma certamente sofreu uma grande influência da civilização helenística, porém várias partes da cultura grega não foram adotadas pelos romanos. No entanto, o epicurismo e o estoicismo dos gregos foi adotado por muitos romanos das classes mais elevadas. Por exemplo, o mais famoso epicurista romano foi Lucrecio (98 a.C.-55 a.C.). Seu poema didático “Da Natureza das Coisas” procurava explicar o universo de forma a libertar o ser humano do medo do sobrenatural, que ele considerava o principal obstáculo à obtenção da paz de espírito. Lucrecio dizia que os mundos, e todas as coisas contidas neles, eram resultados fortuitos de inúmeras combinações de átomos.

O estoicismo foi introduzido em Roma por Panécio (de Rodas) aproximadamente no ano 140 a.C. Seu mais ilustre representante foi Cícero (106 a.C. - 43 a.C.), um dos maiores pensadores de Roma.

Ao mesmo tempo em que Roma florescia cada vez mais, o mundo grego desmoronava. Muitos fatores contribuíram para isso (não apenas a conquista pelos romanos), mas não entraremos nesses detalhes históricos. Cabe



dizer que um dos fatores importantes para o declínio do pensamento grego foi a nova orientação de sua religião. A maioria dos intelectuais gregos passou a adotar o estoicismo, o epicurismo e o cepticismo como regras de vida enquanto que as classes mais populares adotaram as religiões emocionais de origem oriental tal como a adoração da deusa-mãe egípcia Isis que, em dado momento da história, quase se transformou em religião mundial. Do mesmo modo, a religião astral dos caldeus também se disseminou e seu produto principal, a astrologia, propagou-se por todo o mundo grego tendo sido recebida com um entusiasmo quase fanático. A mais poderosa de todas as influências se deveu ao zoroastrismo, em particular ao mitraísmo e gnosticismo. Essas religiões, assim como todas as religiões orientais, prometiam a salvação extraterrena mas o mitraísmo e o gnosticismo apresentavam um desprezo muito maior por esse mundo e definiam de modo mais claro sua doutrina de salvação por um redentor personificado. Não havia mais necessidade de pensar o universo pois a vida era um castigo que só seria redimido na morte e na salvação.



Livro "Elementos de Geometria", de Euclides (século 3 a.C.).

A Grécia não voltou a apresentar pensadores com a dimensão de Platão e Aristóteles. Mesmo em declínio ainda apareceram alguns nomes importantes para a ciência tais como Euclides com os seus "Elementos de Geometria" no século 3 a.C., Arquimedes (de Siracusa) e Heron (de Alexandria) na física e, como vimos, já no século II (depois de Cristo) Ptolomeu na astronomia.

O mais importante aqui é o fato de que, nessa época (obviamente depois de Cristo), surgiu uma nova religião baseada na religião judaica e que pouco a pouco foi ganhando mais adeptos. Inicialmente essa religião disputava adeptos com o mitraísmo, mas lentamente foi se impondo como religião dominante. Era o que mais tarde veio a ser chamado de cristianismo e que se apoiava nos ensinamentos de Jesus Cristo. Sua força inegável levou até mesmo o imperador romano Constantino a converter-se ao cristianismo no início do século IV. Ela tornou-se a religião oficial do Império Romano.

A religião cristã foi a herdeira das civilizações grega e romana. Quando ocorreu a derrocada do Império Romano foram os cristãos (ao mesmo tempo que os árabes) que, espalhados em mosteiros em todo o mundo, preservaram o conhecimento antigo. Devido à sua formação estritamente religiosa e não filosófica, os cristãos tendiam a encarar o conhecimento, em particular o conhecimento da natureza, de uma maneira apenas religiosa: nosso destino estava nas mãos de Deus e até a natureza mostrava sinais da sua grandeza. O que restava para nós era conhecer a vontade de Deus e para isso de nada servia a especulação filosófica se ela não fosse iluminada pela fé.

Tendo como base esse raciocínio, o conhecimento científico não podia negar os dogmas religiosos. Pelo contrário, o conhecimento científico deveria fundamentá-los. Agora a ciência e a filosofia ficavam submetidas à religião: a investigação livre não era mais possível.

Para muitos pensadores dessa época as teorias desenvolvidas pelos filósofos gregos não despertavam mais qualquer interesse. Para ter sabedoria bastava fundamentar-se na Bíblia, pois como Deus era o criador de todas as coisas e a Bíblia era a palavra de Deus, tudo estava nas Sagradas Escrituras. Para compreender a natureza devíamos procurar esse conhecimento não diretamente na própria natureza mas sim nas Sagradas Escrituras. Elas continham o sentido da vontade divina e, portanto, o sentido de toda a natureza criada por Deus. A isso é que deveríamos verdadeiramente dar o nome de "ciência".

A ciência se reduziu à teologia. Compreender a natureza consistia em interpretar a vontade de Deus mostrada na Bíblia. O problema fundamental da ciência consistia em enquadrar de modo correto os fenômenos naturais com o que era dito nas Sagradas Escrituras.



Imperador romano Constantino (272-337 d.C.).

“Qual é a importância de saber se a Terra é uma esfera, um cilindro, um disco ou uma superfície côncava? O que é importante é saber como eu devo me conduzir na direção de mim mesmo, na direção dos membros da raça humana e na direção de Deus.”

*São Basílio de Cesareia (ou São Basílio Magno)
(329 ou 333-379) (século IV)*

“E assim fica manifesto como a “multiforme sabedoria de Deus”, que aparece claramente na Sagrada Escritura, está oculta em todo o conhecimento e em toda a natureza. Fica, igualmente, manifesto como todas as ciências estão subordinadas à teologia, pelo que esta colhe os exemplos e utiliza a terminologia pertencente a todo o gênero de conhecimento. Fica, além disso, manifesto como é grande a iluminação divina e de que modo no íntimo de tudo quanto se sente ou se conhece está latente o próprio Deus.”

*“Redução das Ciências à Teologia”
São Boaventura (1217-1274)*



São Boa Ventura (1217-1274)

Com o desenvolvimento do Cristianismo passamos a viver em um mundo inequivocamente teocêntrico. Esse teocentrismo é garantido pela evolução e estruturação de uma nova instituição que soube chegar ao poder: a Igreja Católica. Com a sua criação tudo muda no mundo civilizado ocidental. Aos poucos a Igreja deixa de se concentrar no domínio religioso e estende sua influência a todos os domínios da vida europeia. A Igreja passa a ditar as regras do convívio social, econômico, artístico, cultural e, porque não, político. Com o acúmulo desse enorme poder, a Igreja passou a ter como meta principal conservá-lo. Isso fez com que surgisse um vergonhoso totalitarismo religioso: a Igreja decretou que suas “verdades” não estavam sujeitas à crítica e quem as desafiassem, mesmo que isso fosse apenas discutir o que era considerado sagrado pela Igreja, teria que se confrontar com os guardiães da fé, a famigerada Inquisição.

Ao mesmo tempo mudanças políticas (destruição do Império Romano feita pelos povos chamados “bárbaros” vindos do norte e leste da Europa) fizeram o mundo civilizado ocidental caminhar para o que viria a ser a Idade Média. E a Idade Média é, sem qualquer dúvida, um mundo teocêntrico cristão. Será visto que, de agora em diante, até mesmo os grandes pensadores temem a Igreja e tentam reduzir suas descobertas aos ditames teocráticos. Alguns, como Giordano Bruno, não aceitam isso e pagam com a vida pela sua audácia.

O QUE FOI A IDADE MÉDIA?

Os historiadores dividem esquematicamente a história da Europa em três “idades”: a civilização clássica da Antiguidade, a Idade Média e os Tempos Modernos.

A Idade Média também é comumente chamada de período medieval ou época medieval. O nome “Idade Média” (“medium ævum”) foi cunhado pelo humanista italiano Flavio Biondo no início do século XV.



Imagem da época medieval.



Cena típica do Mundo Antigo.

Tradicionalmente dizemos que a Idade Média na Europa Ocidental começou quando o Império Romano do Ocidente cessou formalmente de existir no ano 476 (século V). No entanto é extremamente difícil decidir quando a Idade Média terminou. Os historiadores consideram que isso ocorreu em datas diferentes, dependendo do local da Europa que estamos considerando. Podemos supor que a Idade Média terminou quando houve a queda do Império Romano do Oriente (1453), ou a ascensão das monarquias nacionais, ou o começo da exploração dos mares pelos europeus, ou no despertar humanista ou então na Reforma Protestante iniciada por Martinho Lutero em 1517. Estas várias mudanças marcam o começo do chamado Período Moderno Inicial, que precede a Revolução Industrial.

Sob este ponto de vista histórico o Mundo Antigo inclui os primeiros 500 anos do Império Romano, enquanto que a Idade Média cobre os 1000 anos finais da longa história de 1500 anos do Império Romano.

A Idade Média frequentemente é subdividida em três períodos: alta, clássica e baixa. Essa subdivisão passou a ser usada após a Primeira Guerra Mundial e é consequência dos trabalhos de Henri Pirenne, em particular seu artigo “Les periodes de l’histoire du capitalism”, publicado no Bulletin de la Classe des Lettres da Academie Royale de Belgique, em 1914, e também dos trabalhos de Johan Huizinga, autor de “The Autumn of the Middle Ages”, publicado em 1919.

A Alta Idade Média, também chamada de Idade Média Antiga, vai do século V ao X. Este foi um período de formas inconstantes de governo, um nível relativamente baixo de atividade econômica e de incursões bem sucedidas feitas por vários povos não Cristãos tais como os eslavos, os árabes e os escandinavos. O período que vai do século V ao século VIII é algumas vezes chamado de “Idade das Trevas”.

A Idade Média Clássica, também chamada de Idade Média Plena, se estende do século XI ao final do século XIII/início do século XIV. Este período se caracteriza pela cultura expansionista e pelo renascimento intelectual. Este é um período de crescente poder real, de aumento dos interesses comerciais e do enfraquecimento dos usuais laços de dependência, especialmente após a peste que ocorreu no século XIV. É nesse período que temos as instituições desenvolvidas, o domínio dos lordes e o crescimento da vassalagem, a construção de castelos e combates a cavalo, e o renascimento da vida urbana e comercial.

A Baixa Idade Média, também chamada de Idade Média Tardia, corresponde aos séculos XIV e XV, indo de cerca de 1300 a 1500. Politicamente esta era foi tipificada pelo declínio do poder feudal e sua substituição pelo desenvolvimento de fortes nações-estado baseadas na realeza.



Ilustração de instrumentos da Idade Média Plena.

O UNIVERSO NA IDADE MÉDIA

Como já vimos, o Império Romano não produziu qualquer progresso científico em nossa compreensão do universo. A maior parte do conhecimento dos gregos foi esquecida e os registros que existiam na biblioteca de Alexandria foram perdidos.

Na Idade Média floresceram ideias mitológicas sobre o universo.

Depois do declínio do Império Romano, os contatos feitos pelos Cruzados do ocidente com o mundo árabe fizeram efervescer novos pensamentos.

A IDADE DAS TREVAS

No ano 476 o último imperador romano do ocidente, Rômulo Augústulo, foi deposto. Várias tribos bárbaras, tais como os Ostrogodos, Visigodos, Sue-

vos, Alamanos, Saxões, e os Vândalos, já tinham realizado uma série de invasões por toda a Europa, saqueando e rompendo a estabilidade política de toda a região.

Com a queda final do império romano do ocidente, no século 5, a escuridão desceu sobre a Europa. Todas as atividades intelectuais definham nas mãos dos chamados “povos bárbaros”. O rompimento das relações sociais fez com que a principal preocupação fosse a sobrevivência.

O Cristianismo foi racionalizado pelo conhecimento judaico e grego que ainda tinha sobrevivido em Alexandria. Sua disseminação foi muito ajudada pela rede de comunicação que havia sido criada pelo Império Romano que, naquele momento, já estava se desintegrando.

Os historiadores consideram que o pior período da Idade Média foi a sua fase inicial. A ela foi dado o nome de “Idade das Trevas”, embora haja muitas vozes discordantes sobre o que esta fase realmente significou para a humanidade.

Na Idade das Trevas a discussão sobre o universo retrocedeu muito. Voltou-se a ter uma polarização mitológica entre o céu e o inferno. Para o homem comum a Terra voltava a ter a forma de um tabernáculo retangular, plano, circundado por um abismo de água. Se olharmos para o que as civilizações já haviam criado para descrever o Universo, vê-se que este realmente foi um monstruoso retrocesso.

No entanto, alguns sábios da época, tais como Boethius e o Venerável Bede, estavam a par da ciência grega através das anotações em latim que Cícero, Plínio e outros filósofos haviam deixado. Boethius, romano de origem nobre, preservou o conhecimento existente sobre a lógica e a matemática. Foi ele quem traduziu os textos de lógica de Aristóteles, além de outros trabalhos de Pitágoras e Euclides. Assim, embora o saber europeu estivesse no seu mais baixo nível após muitos séculos, ainda sobreviviam resíduos do conhecimento antigo, principalmente em locais como Bizâncio, Síria e na antiga Pérsia.

Somente no século 11 é que a Idade das Trevas começou a ser dissipada, com o surgimento de escolas e, mais tarde, universidades. Novas importantes ideias também apareceram como, por exemplo, o conceito de que é necessário primeiro compreender para então acreditar.

O mapa ao lado mostra o florescimento das universidades em toda a Europa por volta do século 12. As universidades daquela época eram produtos de um sistema de associações.

Existiam quatro faculdades que estavam voltadas para arte, teologia, lei e medicina. Havia também sete artes liberais: a gramática, retórica e lógica formavam o chamado “trivium” enquanto que a aritmética, geometria, música e astronomia formavam o “quadrvium”.

Nos séculos 12 e 13 durante o declínio do império islâmico, acelerado mais ainda no século 14 pela invasão dos Mongóis, os trabalhos de Aristóteles, Euclides, Ptolomeu e vários outros foram traduzidos para o latim. Primeiramente eles foram traduzidos do árabe mas, mais tarde, isto foi feito diretamente a partir dos originais gregos.

É interessante notar que no século XIII estudiosos em várias universidades de toda a Europa procuravam analisar as implicações que surgiram com a redescoberta da filosofia de Aristóteles e a astronomia de Ptolomeus. Um dos principais itens de pesquisa dizia respeito à verdadeira natureza das “esferas celestes”. Os filósofos da época consideravam que as esferas celestes descritas nos modelos de Aristóteles e Ptolomeus eram sólidas no sentido tridimensional ou seja, eram contínuas. No entanto, a maioria não as considerava mais serem sólidas no sentido de “duras”. Havia consenso de que as esferas celestes eram feitas de algum tipo de fluido contínuo.



Boethius.



Venerável Bede.



Mapa da Europa no século XVII.



Bispo inglês Robert Grosseteste (~1175-1253).

Robert Grosseteste

Um importante nome para a ciência, nessa época de final do século XII e início do século XIII, foi o do teólogo e bispo inglês Robert Grosseteste (~1175-1253). Ele escreveu vários trabalhos enquanto ainda era padre, entre eles “Chateau d’amour”, um poema alegórico sobre a criação do mundo e a redenção cristã. Entre 1220 e 1235 Grosseteste escreveu vários tratados científicos, entre eles “De sphaera”, um texto introdutório de astronomia, e “De luce”, sobre a luz, considerado por alguns historiadores como o trabalho mais original sobre cosmogonia que surgiu no ocidente latino em sua época.

Grosseteste também escreveu vários comentários sobre a filosofia de Aristóteles onde apresentou conceitos básicos que serviriam, mais tarde, para o desenvolvimento do chamado “método científico”. Grosseteste entendeu completamente a visão proposta por Aristóteles da trajetória dual do raciocínio científico: a generalização das observações particulares em uma lei universal e então retornar das leis universais para as previsões particulares. Grosseteste chamou isso de “resolução e composição”. Para Grosseteste, por exemplo, por meio da observação das características particulares da Lua seria possível chegar às leis universais sobre a natureza. Inversamente, uma vez que as leis universais estejam compreendidas é possível fazer previsões e observações sobre outros objetos diferentes da Lua. Ele dizia que ambas as trajetórias deveriam ser verificadas por meio da experiência com o objetivo de observarmos seus princípios.

Grosseteste também foi responsável pelo desenvolvimento da ideia de subordinação entre as várias ciências. Ele alegava que, por exemplo, comparando a óptica e a geometria, vemos que a óptica é subordinada à geometria porque a óptica depende da geometria. Grosseteste concluiu, seguindo de perto o que havia sido proposto por Boethius, que a matemática era a mais elevada de todas as ciências naturais e a base sobre a qual todas elas se apoiavam, uma vez que todas no fim das contas dependiam da matemática.

Albertus Magnus

Esse dominicano nascido na Bavaria, Alemanha, (1193/1206-1280) alcançou fama por defender a pacífica coexistência entre a ciência e a religião. Ele foi um dos primeiros religiosos da Idade Média que aplicou a filosofia de Aristóteles ao pensamento cristão. Albertus interpretou e sistematizou, de acordo com a doutrina da Igreja Católica, todos os trabalhos de Aristóteles com base nas traduções latinas e não naquelas feitas pelos árabes. Deve-se a ele a preservação e apresentação dos trabalhos de Aristóteles como os que conhecemos na época moderna. Foi com Albertus que Thomas Aquinas começou seus estudos teológicos.

Albertus Magnus foi tão importante na sua época (possivelmente o autor mais lido em seu tempo) que Dante Alighieri o cita em sua obra literária “Divina Comédia”. A escritora Mary Shelly também o cita, juntamente com Agrippa e Paracelsus, no seu romance “Frankenstein” onde um de seus livros é escolhido para leitura pelo jovem Vitor Frankenstein.

Embora Albertus tenha se dedicado mais à alquimia e astrologia, ele mostrou-se crítico de Aristóteles ao rejeitar a ideia de “música das esferas” como sendo ridícula. Segundo Albertus o movimento dos corpos astronômicos era incapaz de gerar som.

Os textos de Albertus Magnus foram tão importantes para a Igreja que a iconografia do arco superior do portal da Catedral de Strasbourg, França, construída no final do século XIII, foi inspirada nos escritos deixados por ele (imagem a seguir).



Albertus Magnus (1193/1206 - 1280).

“A ciência natural não consiste em ratificar o que outros disseram, mas em procurar as causas dos fenômenos.”

Albertus Magnus

Roger Bacon

Já no século XIII, surgiu Roger Bacon (~1214-1294), um monge franciscano inglês que enfatizava que o método científico consistia em fazer observações e não realizar a eterna leitura de textos antigos. Para ele o método científico significa observar, usar a matemática, comparar os resultados obtidos com os experimentos feitos e voltar a fazer observações. Era preciso se libertar dos velhos clássicos e criar uma nova maneira de encarar a ciência. Em pleno século XIII ele tinha a coragem de declarar:

“Em qualquer ciência é essencial seguir o melhor método, isto é, estudar cada coisa na ordem correta, colocando o primeiro no começo, o fácil antes do difícil, o geral antes do particular, o simples antes do complexo. A apresentação deve ser conclusiva e isto é impossível sem a experiência. A autoridade não vale nada se suas asserções não podem ser substanciadas: a autoridade não ensina, ela exige apenas concordância. Raciocinando comumente distinguimos entre sofismo e prova, verificando conclusões pela experiência.”

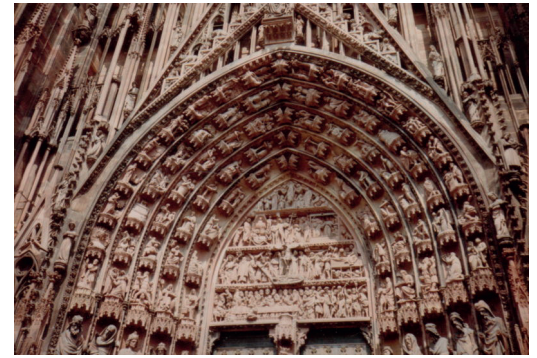
Tomas de Aquino

Thomas Aquinas (Tomás de Aquino) (1224-1274), foi um dos principais representantes do pensamento da Idade Média. Ele foi responsável por dar ao Cristianismo todo um suporte filosófico. Para isso ele mostrou, no século 13, de que forma o cristianismo podia ser acomodado dentro do universo Aristotélico, necessitando apenas modificações relativamente superficiais. Segundo o seu pensamento os seres humanos mantinham a imortalidade mas, no entanto, o universo adotado perdia a sua eternidade uma vez que ele tinha sido criado por Deus. Thomas Aquinas cristianiza a filosofia de Aristóteles.

Ele utiliza e adapta à doutrina cristã da Igreja os conceitos metafísicos de Aristóteles em particular o conceito de que tudo que existe tem uma causa primeira e um fim último. Ele também aceita a cosmologia aristotélica que nada mais é do que o geocentrismo reformulado por Ptolomeus, que nos dizia que o universo é formado por esferas concêntricas no meio do qual a Terra permanece imóvel. A partir de Thomas Aquinas a filosofia de Aristóteles passou a ser estudada e comentada nas escolas da época que pertenciam à Igreja e que funcionavam em seus mosteiros. Aristóteles e sua filosofia passam a ser confiáveis e ele agora é considerado, ao lado das Sagradas Escrituras, uma autoridade no que diz respeito ao conhecimento da natureza.

Sacrobosco

Também é no século XIII que surge um outro importante membro do pensamento da Idade Média: Sacrobosco. Também conhecido como John Halifax, John de Holywood ou então Johannes de Sacre Bosco, Sacrobosco nasceu, não se sabe em que ano, em Yorkshire, Inglaterra, e faleceu em 1256. Ele foi educado em Oxford e ensinou matemática na Universidade de Paris. Sacrobosco foi o primeiro europeu a escrever sobre o sistema de Ptolomeu.



Portal da Catedral de Strasbourg, França.



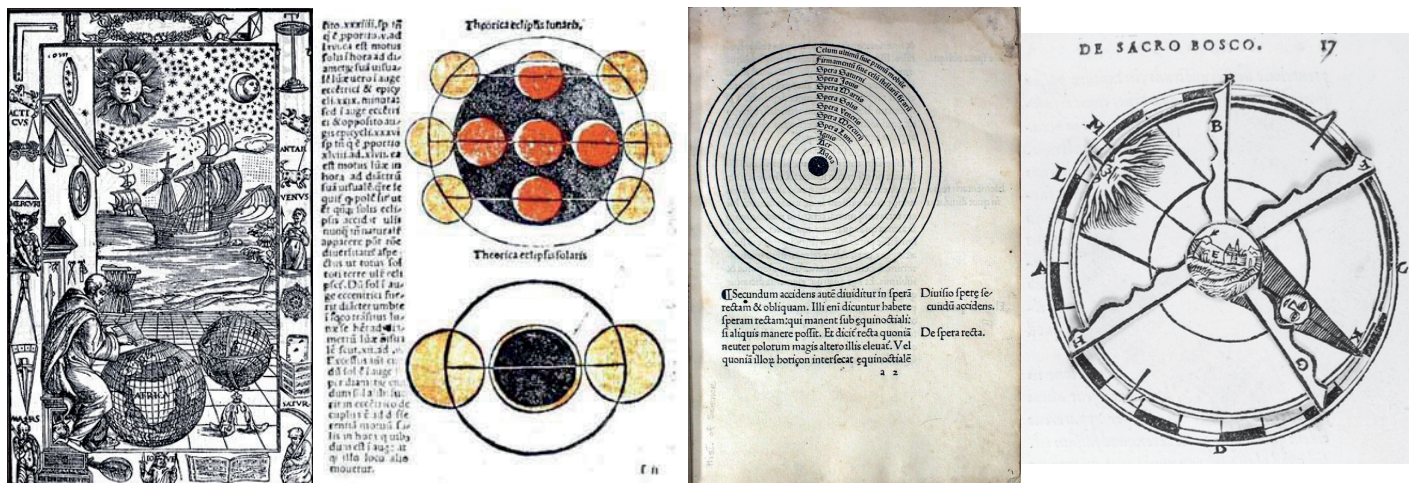
Roger Bacon (~1214-1294).



Tomás de Aquino (1224- 1274).

Seu livro “Sphoera Mundi” foi o mais importante livro texto de astronomia por cerca de 400 anos. A razão disso foi a introdução dos tipos móveis na imprensa por volta do ano 1440 por Johannes Gutenberg (~1397-1468). O “Sphoera Mundi” foi um dos primeiros livros de astronomia impressos em todo o mundo, daí a sua grande divulgação. Entre 1472 e 1500 este livro teve 25 edições. Por volta de 1650 ele teve mais 40 edições. A descoberta de Gutemberg tornou mais fácil os meios educados da Europa terem acesso à ciência embora isso não significasse muito para a população comum, em sua maior parte analfabeta.

A imagem abaixo faz parte de uma edição de 1537 do livro “Sphoera Mundi”. Nela vemos Sacrobosco escrevendo seu livro.



Sphoera Mundi.

Os pequenos desenhos localizados dentro da borda desta ilustração mostram os planetas. Marte está no canto inferior esquerdo, Mercúrio está no centro a esquerda, Vênus está no centro a direita, Saturno está no canto inferior direito e Júpiter está na parte de baixo ao centro da imagem. Na parte de cima desta borda são mostrados instrumentos usados para medir o espaço tais como o esquadro, no canto superior esquerdo, e o dióptro, no canto superior direito. São mostrados instrumentos para medir o tempo tais como a ampulheta, a esquerda do centro, e o relógio de sol portátil, a direita do centro. Espalhados pela borda estão ícones que representam outros estudos matemáticos, música e o desenho em perspectiva. Também são mostrados os símbolos para os polos celestes: “acticus”, na parte superior esquerda (deveria ser “arcticus”) e “antar”, abreviação de “antarcticus” na parte superior direita. Estes símbolos estão acompanhados por pequenos desenhos da constelação Ursa Maior. Na parede atrás de Sacrobosco estão pendurados seus instrumentos de observação, o quadrante e o astrolábio, assim como seus instrumentos de projetos, o compasso e o esquadro.

Por ter muitas ilustrações o livro “Sphoera Mundi” de Sacrobosco tornou-se bastante útil. Mesmo se os leitores não conseguissem compreender todo ou a maior parte do texto, eles poderiam ainda assim aprender bastante por meio das várias ilustrações ali apresentadas. Mostramos abaixo uma destas ilustrações, que explica os eclipses lunares (parte de cima) e solares (parte de baixo). Ela faz parte da edição de 1491 do livro de Sacrobosco.

Curiosamente, as edições posteriores do livro “Sphoera Mundi” de Sacrobosco incluíam ilustrações móveis, chamadas “volvelles” que os leitores podiam girar para melhor compreender os fenômenos celestes que variavam. A imagem abaixo mostra uma “volvelle” pertencente a uma edição de “Sphoera Mundi” feita por volta do século XVI. Ela representa um eclipse lunar.

A imagem ao lado, que também pertence ao “Sphoera Mundi” de Sacrobosco, mostra a visão do universo que ele divulgava, puramente Ptolomeus.



Sphoera Mundi.

Suas crenças estão bem claras nesta imagem onde Ptolomeus é colocado como príncipe ao lado da deusa da Astronomia, Urania.

Por volta do século 14 o universo medieval atingiu o seu maior desenvolvimento. Ele agora era antropocêntrico e foi santificado pela religião, endossado pelos filósofos e racionalizado pela ciência geocêntrica.

Essas ideias permaneceram ainda em vigor ao longo de todo o século XV apesar de já estarmos em plena Renascença.

Dante Alighieri

As ideias apresentadas por Thomas Aquinas tão logo foram divulgadas começaram a sofrer adaptações suplementares. O famoso escritor italiano Dante Alighieri (1265-1321), autor do conceituado texto “Divina Comédia” (1306-1321) (originalmente chamado “Commedia”) (em português “Divina Comédia”), uma obra prima da literatura mundial, descreveu, de forma literária (e magistral) como o universo era concebido, sob o ponto de vista teológico, na Idade Média. Na “Divina Comédia” o próprio Dante realizava uma jornada através do Inferno, Purgatório e Paraíso, a princípio guiado pelo poeta épico romano Virgílio e depois por Beatriz, sua amada.

Na seção intitulada “Paraíso” Dante descreve Deus como uma luz no centro do cosmos. O inferno era uma região inferior localizada bem dentro da Terra enquanto que o purgatório era a região sublunar. As regiões etéreas eram os locais ideais para a residência das hierarquias superlunares, os seres angelicais (imagem abaixo).

Dante frequentemente cita Albertus Magnus em seus textos literários. Ele faz a doutrina de livre arbítrio desenvolvida por Albertus Magnus a base de seu sistema ético. No seu famoso livro “Divina Comédia” Dante coloca Albertus Magnus e seu discípulo Thomas Aquinas entre os grandes amantes da sabedoria (*Spiriti Sapienti*) no “Céu do Sol”.

Os fatos narrados a partir de agora já ocorrem dentro do período chamado “Renascença”, que durou do século XIV ao XVI, como veremos no próximo item deste módulo. Somente por uma questão de continuidade os filósofos abaixo são citados dentro do período da Idade Média. Isso também serve para mostrar que as épocas históricas não são estanques e que o pensamento dominante em uma delas invade a seguinte. Assim fica claro como o pensamento de Ptolomeus e Aristóteles ainda será dominante em muitos aspectos durante a Renascença.

Nicholas Oresme

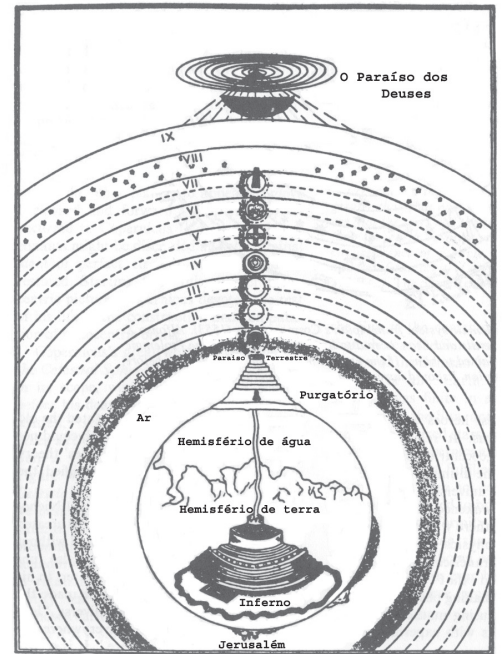
Não foi apenas Roger Bacon que apresentou críticas à ciência oficial. Muitos outros pensadores, ao longo da Idade Média, também tiveram coragem de apresentar ideias sobre o universo que eram revolucionárias e perigosas para a época. E, o mais curioso, muitos deles eram religiosos!

No século XIV viveu o bispo francês Nicholas Oresme (1320-1382), um brilhante matemático, físico e economista, que apesar de seus trabalhos científicos, é muito mais célebre por ter, em algum momento antes do ano 1355, escrito o livro “Tratado sobre a Origem, Natureza, Lei, e Alterações das Moedas”, o primeiro tratado sobre economia que falava sobre a teoria da inflação monetária!

Oresme afirmou que o movimento de um corpo somente poderia ser percebido quando ele alterava sua posição em relação a outro corpo.

Baseado nessa ideia, Oresme apresentou um discurso refutando o velho pensamento de que a Terra não podia girar em torno do seu eixo.

Em 1377 Nicholas Oresme publicou o livro “Le Livre du Ciel et du Monde”, uma tradução com comentários do livro “De caelo” de Aristóteles. É curioso



Concepção teológica do Universo idealizada por Dante Alighieri (1265- 1321).



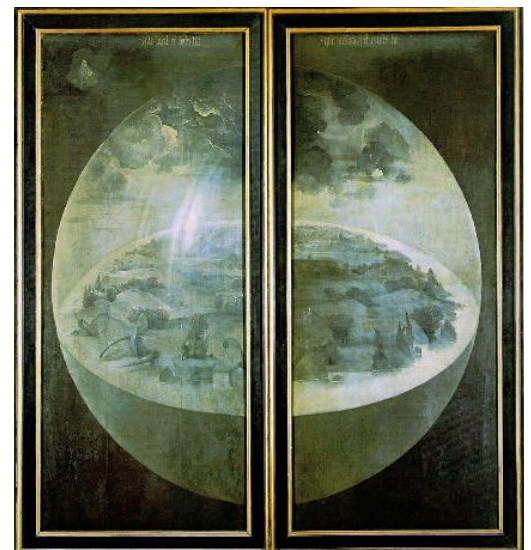
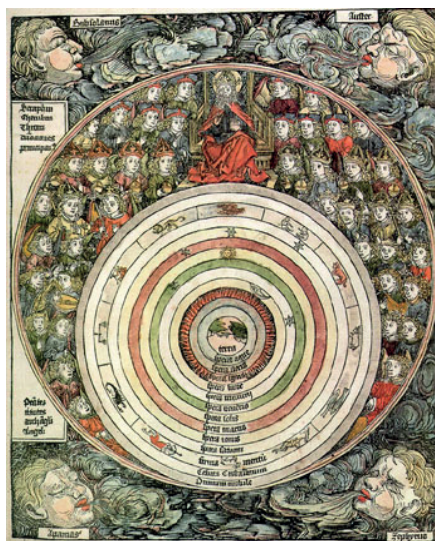
Ilustração do Paraíso, canto 31, feita por Gustave Doré (1832-1883).

A ARTE MOSTRA A CIÊNCIA DO FIM DA IDADE MÉDIA (EM PLENA RENASCENÇA!)

No ano de 1493 foi publicada uma história ilustrada da Terra, que descrevia de sua criação até 1490. Este livro, “A Crônica de Nuremberg”, também chamado de “O Livro de Crônicas desde o Começo do Mundo”, foi compilado por Hartmann Schedel, com ilustrações e gravuras de Michael Wohlgemuth, Wilhelm Pleydenwurff e Albrecht Dürer, e impresso e publicado por Anton Koberger. Este maravilhoso trabalho de arte, hoje um dos principais itens dos colecionadores de livros, continha 1809 impressões obtidas de 645 gravuras originais de madeira. A imagem abaixo mostra o “Venerável Bede”, representado em uma das ilustrações desse livro.

Entre as belíssimas imagens desse livro encontramos uma que nos descreve o universo. Ela nos mostra o ponto de vista medieval da ciência, isso já em pleno século XV.

Também mostramos abaixo um painel que é parte de uma pintura feita por Hieronymous Bosch em 1504. Ela se chama “O Jardim dos Prazeres Terrestres” e é chamada de “tríptico” por ser constituída por três grandes partes. Provavelmente essa pintura foi feita para a diversão particular de alguma família nobre. O painel central, que não é mostrado aqui, apresenta um jardim de delícias, de onde vem o nome da pintura. A parte da pintura mostrada aqui é de uma das venezianas externas e representa uma visão medieval do terceiro dia da criação, incluindo uma Terra plana, com nuvens flutuando em um firmamento esférico, e um vazio circundando a bolha esférica que envolve a Terra.



Esta visão do universo não era predominante nem amplamente compartilhada pelos membros educados da sociedade na Idade Média, que certamente tinham herdado muito do seu conhecimento astronômico a partir de documentos como o Almagesto e outros. No entanto, esta visão tinha uma certa influência entre os membros do público geral.

UM RESUMO DA COSMOLOGIA DA IDADE MÉDIA

- a ciência grega tinha estabelecido que Terra era o apex (o ponto mais alto) do Universo em um sentido físico.
- a igreja institucional elaborou um significado desta interpretação nas Sagradas Escrituras e adotou o esquema de Ptolomeus.

04

A Cosmologia Islâmica

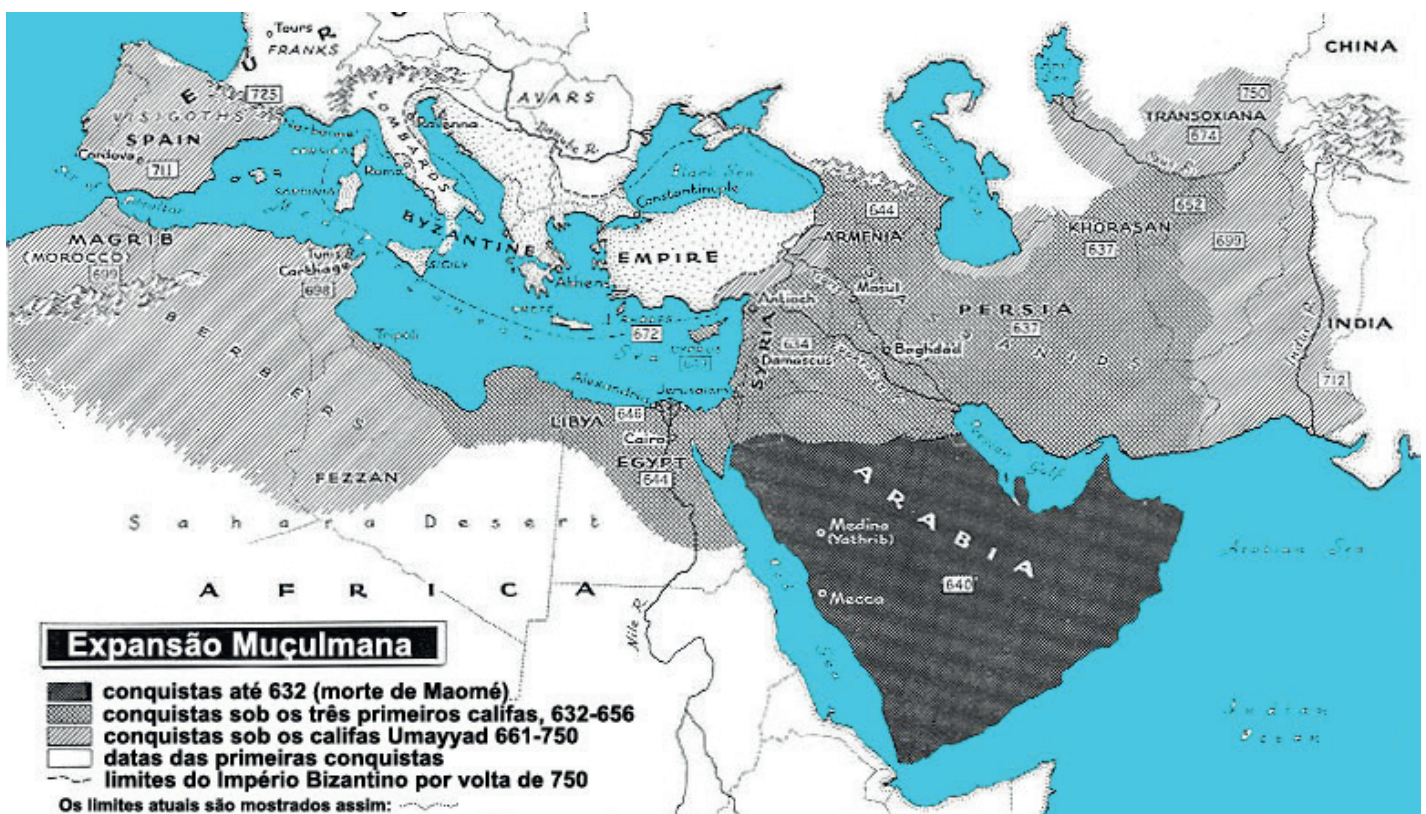
- abaixo da Terra estava o inferno, evidenciado pelos vapores abrasadores que é lançado pelos vulcões.
- acima estavam sete esferas nas quais o Sol e os planetas giram em torno da Terra.
- a oitava esfera era uma abóbada imóvel sobre a qual as estrelas se penduravam como lâmpadas.
- a nona, ou esfera cristalina, era a residência dos santos.
- acima de tudo, na esfera número dez, estava a residência de Deus Todo Poderoso, chamada Paraíso ou o Firmamento.
- esta teoria de cosmologia tendeu a ser cada vez mais aceita como fato.

As teorias de Ptolomeus e Aristóteles dominaram a astronomia/cosmologia por aproximadamente 14 séculos. O sucesso do universo Ptolomaico-Aristotélico deve-se a:

- a beleza intrínseca de seus conceitos e ao fato de estarem em acordo com as filosofias da época.
- eram amplamente bem sucedidas em explicar as observações. Lembre-se que as paralaxes das estrelas ainda não eram conhecidas e os telescópios ainda não existiam.
- ter sido adotada pela poderosa Igreja Católica durante a Idade Média que a considerou um dogma.

A COSMOLOGIA ISLÂMICA

No século 7 os árabes saíram de seus desertos e deram início à formação do grande Império Islâmico. Suas conquistas se estenderam do oceano Atlântico até a Índia.



Com o domínio dos árabes, o artesanato, as artes e as ciências mais uma vez floresceram em todas as regiões por eles conquistadas. Foram fundadas bibliotecas de manuscritos antigos e muitos sábios emigraram para Damasco, Bagdá, Córdoba e outros grandes centros da nova civilização islâmica. A literatura grega, egípcia, persa, chinesa e indiana foi cuidadosamente reunida por eles, traduzida, primeiro em siríaco e mais tarde em árabe, e então combinada por sábios que trabalhavam intensamente.

Enquanto isto, na Europa, a Terra voltava a ser considerada redonda e o universo era mais uma vez geocêntrico.

Pela preservação e transmissão do conhecimento antigo, que no fim das contas despertou de novo a Europa, o mundo moderno possui uma grande dívida com o Império Islâmico.

A CIÊNCIA DOS ÁRABES

O segundo califa de Abbasid, no período de 754 a 775 foi Abu Ja'far Abdallah ibn Muhammad al-Mansur (712 – 775), ou simplesmente Al-Mansur.

No ano 773, Al-Mansur recebeu um hindu erudito, um astrônomo chamado Mankha, que era capaz de falar sobre os céus como se fosse a reminiscência de uma viagem pessoal.

Impressionado com os conhecimentos demonstrados por este astrônomo indiano, Al-Mansur notou que o mundo islâmico poderia estar se prejudicando muito ao desprezar o conhecimento acumulado pelas outras civilizações.

Quando o astrônomo indiano Mankah presenteou Al-Mansur com uma cópia do *Siddhanta*, revelando ao califa a fonte de seu grande conhecimento, Al-Mansur ordenou que os astrônomos persas começassem imediatamente a traduzir este importante texto científico.

Logo os árabes passaram a demonstrar muito interesse pelo conhecimento recém apresentado dos céus. Isto os estimulou a traduzir os textos gregos ao saberem que estes eram a origem de grande parte do conhecimento incorporado ao *Siddhanta*.

Entre os textos adquiridos no início do século 9 pelos árabes estava o “*Mathematike syntaxeos biblia* ιγ” de Ptolomeu, o maior texto astronômico até então escrito. Os árabes mais tarde deram-lhe um novo nome, *Almagest*. A data da sua primeira tradução para o árabe foi, provavelmente, o ano 827.

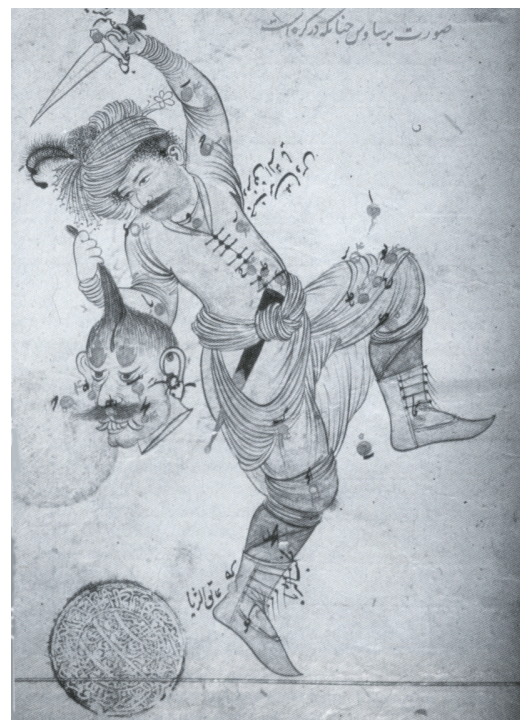
De posse do *Almagest*, agora traduzido para a sua língua, os árabes tinham os fundamentos básicos a partir do quais eles poderiam iniciar a sua própria investigação na ciência astronômica.

Logo os filósofos árabes mostraram seu espírito crítico perante a ciência grega. Para eles Ptolomeu não devia ser aceito sem questionamento.

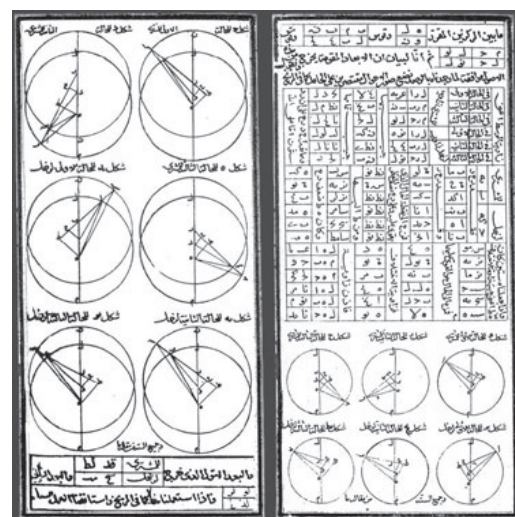
O grande matemático e astrônomo Al-Kwarizmi (780-850) recebeu o encargo de verificar e, possivelmente, atualizar o trabalho escrito por Ptolomeu.

Al-Kwarizmi também redigiu as primeiras tabelas estelares em árabe. Curiosamente, ele o fez usando o sistema indiano de contagem, um sistema muito superior àquele que os árabes usavam. A matemática árabe, que passou a incorporar este novo sistema numérico, se tornou tão bem sucedida que o sistema numérico indiano ficou sendo conhecido como sistema numérico arábico desde aquela época.

Mais tarde, o astrônomo Al-Battani (850-929), também conhecido como Abattegnius, modificou alguns cálculos de Ptolomeu como, por exemplo, a verdadeira extensão do ano e a constante de precessão. Seu trabalho foi traduzido em várias línguas européias e se tornou muito popular entre acadêmicos e cientistas. Al-Battani acreditava que a astronomia só perdia em importância para a religião.



Califa de Abbasid.



Reprodução Árabe do pensamento matemático da época.

Ulugh Begh, neto do chefe tártaro Tamerlane, compilou um catálogo de estrelas no início do século 15. Seu catálogo tinha a precisão de 1/10 do diâmetro da Lua, mostrando a alta qualidade de seus instrumentos, anteriores ao telescópio. O seu observatório ainda está de pé em Samarkand.

Abu Rayhan al-Biruni

No século XI destaca-se na ciência islâmica Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973-1048). Suas grandes contribuições em física, astronomia, química e matemática fizeram-no um nome muito conhecido no mundo muçulmano. No entanto, no ocidente suas realizações foram bem menos conhecidas do que aquelas feitas por muitos de seus contemporâneos.

Biruni escreveu 146 obras científicas das quais 35 eram sobre astronomia, 4 sobre astrolábios e 15 sobre matemática. Destas somente 22 sobreviveram (das quais 6 são sobre astronomia).

Destacam-se no trabalho de al-Biruni suas propostas de que a Terra era uma esfera e que “todas as coisas são atraídas para o centro da Terra”. Ele também postulou que os dados astronômicos tanto podem ser explicados supondo que a Terra gira diariamente em torno de seu eixo e anualmente em torno do Sol como supondo a hipótese que o Sol é que gira em torno da Terra.

Al-Biruni foi um dos primeiros cientistas a realizar elaboradas observações em astronomia. Em 1030 ele discutiu em seu livro “Indica” as teorias heliocêntricas propostas por cientistas indianos tais como Aryabhata, Brahmagupta e Varahamihira. Para al-Biruni a questão do heliocentrismo era um problema filosófico e não matemático.

Segundo al-Biruni “A rotação da Terra de modo algum invalida os cálculos astronômicos pois todos os dados astronômicos são tão explicáveis em termos de uma teoria como de outra. O problema é, desse modo, de solução difícil.”

Também foi al-Biruni o primeiro a medir o raio da Terra. Usando métodos trigonométricos ele calculou que o raio terrestre tinha 6339,6 quilômetros (apenas 16,8 km menos do que o valor atual). Devemos lembrar que o valor do raio terrestre só foi obtido no ocidente no século XVI.

Al-Biruni foi um grande crítico dos trabalhos de Aristóteles, em particular de sua cosmologia. Entre muitas outras críticas destaca-se a declaração de al-Biruni de que não há qualquer razão para supormos que as órbitas dos planetas têm que ser circulares e não elípticas.

Ibn al-Haytham

Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham (965-1039), conhecido também como al-Basri ou pelo nome latinizado de Alhacen, foi um dos grandes nomes da ciência islâmica. Ele escreveu mais de 200 trabalhos sobre vários assuntos sendo que 50 destes sobreviveram (23 são sobre astronomia).

O trabalho mais importante de al-Haytham foi sobre óptica. Seu livro “Kitab al-Manazir” (Livro de Óptica), escrito entre 1011 e 1021, é considerado como um dos mais importantes tratados de física escritos até hoje por iniciar uma revolução na óptica. Neste livro al-Haytham provou que as propostas de Euclides, Ptolomeus e Aristóteles estavam erradas e desenvolveu a teoria que explica o processo da visão por meio de raios de luz que atingem o olho provenientes de cada ponto de um determinado objeto.

Os capítulos 15 e 16 do seu livro de óptica tratam da astronomia. Ibn al-Haytham foi o primeiro a dizer que as “esferas celestes” não consistiam de matéria sólida como se pensava na época. Ele também propôs que os “céus” eram menos densos que o ar.

Entre os anos 1025 e 1028 Ibn al-Haytham escreveu o livro “Al-Shukuk ‘ala Batlamyus”, traduzido como “Dúvidas relativas a Ptolomeus”. Nele Ibn



Catálogo de estrelas.



Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham (965-1039)

05

A Cosmologia na Renascença

al-Haytham criticava muitos dos trabalhos de Ptolomeu, incluindo o “Almagesto” e seu livro “Optica”. Segundo al-Haytham alguns dos artifícios matemáticos introduzidos por Ptolomeu em sua descrição do universo, em particular o equante, não satisfaziam as exigências de um movimento circular uniforme. Em seguida Ibn al-Haytham propôs o primeiro modelo não-ptolomaico rejeitando os equantes e excêntricos postulados por Ptolomeu, mas continuando a aceitar seu modelo geocêntrico.

Durante a Idade Média, os livros de al-Haytham sobre cosmologia foram traduzidos para o latim, hebreu e várias outras línguas. O Professor Abdus Salam, físico ganhador do Premio Nobel por ser um dos criadores da chamada “Teoria de Glashow-Weinberg-Salam”, declarou considerar Ibn al-Haytham “um dos maiores físicos de todos os tempos”. Muitos historiadores o consideram o maior cientista de toda a Idade Média e que seus trabalhos permaneceram insuperados por aproximadamente 600 anos até a época de Johannes Kepler.

UM RESUMO DA ASTRONOMIA ÁRABE

Mankah	século 8	<ul style="list-style-type: none">foi o professor hindu de Al-Mansur, o segundo califa de Abbasidapresentou o <i>Siddhanta</i> ao califaestimulou o apetite árabe pela ciência e a astronomia de outras culturas
Al-Kwarizmi	780-850	<ul style="list-style-type: none">verificou e atualizou o <i>Almagest</i> de Ptolomeuredigiu as primeiras tabelas estelares em árabe usando o sistema indiano de contagem
Al-Battani	850-929	<ul style="list-style-type: none">modificou alguns cálculos de Ptolomeu, incluindo a duração verdadeira do ano e a constante de precessão
Al-Tusi	1201-1279	<ul style="list-style-type: none">desafiou a cosmologia de Ptolomeu mas não pode apresentar uma alternativa satisfatória

A COSMOLOGIA NA RENASCENÇA

O termo “renascença” descreve o período da história europeia que vai do início do século XIV até o final do século XVI.

O termo “renascença” se originou da palavra italiana “rinascita”, que literalmente significa “renascer”, e descreve as mudanças radicais que ocorreram na cultura europeia durante estes séculos. É nesta época que vemos o desaparecimento da idade média e, pela primeira vez, a incorporação à sociedade dos valores do mundo moderno.

Neste período vemos a exploração do globo terrestre com as grandes navegações feitas por portugueses e espanhóis. Vemos também um incrível desenvolvimento da expressão artística, com Leonardo da Vinci, Rafael, Ticiano, Michelangelo e também das ciências com Copérnico, Tycho Brahe, Kepler e Galileu.

No entanto, este desenvolvimento não deve ser confundido com liberdade. A Igreja Católica dominava fortemente o pensamento da época. As artes e a ciência passavam pelo crivo de seus censores. Cientistas como Copérnico e Galileu apresentaram suas ideias, e sofreram por causa delas, nesta época. Alguns como Giordano Bruno foram queimados por apresentarem interpretações científicas diferentes daquelas apoiadas pela Igreja Católica.



Ilustração da época.



Martinho Lutero (1483 - 1546).

Entretanto, durante o Renascimento muitas verdades intocáveis são revistas e destruídas. Até mesmo a autoridade do Papa é contestada por Martinho Lutero (1483-1546), dando origem ao protestantismo. Os ensinamentos de Cristo não possuem mais somente um dono.

Apesar de tudo isto, a era do renascimento tirou o mundo da apatia e ignorância em que ele havia sido lançado durante a Idade das Trevas.

É importante ter em mente que essas divisões históricas não são muros rígidos em torno de ideias. Na Europa do século XIII, ainda Idade Média, já havia uma forte insatisfação com a física e a astronomia de Aristóteles e de Ptolomeu. Nos séculos XIII e XIV muitos fatos científicos desconhecidos de Democritus, Aristoteles e tantos outros filósofos naturais já haviam sido acumulados e pediam novos métodos de análise.

No entanto, como vimos ao falar da Idade Média, muitos cientistas que viveram durante a Renascença ainda se apegavam às ideias de Ptolomeus e Aristóteles.

Um fato que bem demonstra isso ocorreu no começo do século XVII. Um clérigo, ao ser convidado para ver as manchas do Sol em um telescópio, declarou: *“Bobagem, meu filho. Eu li Aristóteles duas vezes e não encontrei nada sobre isso. Não existem manchas. Elas são apenas resultado de manchas nos seus olhos ou em seus olhos”*.

Apesar de tudo isso, a Renascença nos conduziu à “revolução copernicana” e, como consequência, à era moderna da ciência.

OS GRANDES NOMES DA COSMOLOGIA NA RENASCENÇA

Nicolaus Copernicus

Nicolaus Copérnico nasceu no dia 19 de fevereiro de 1473 em Torun (Thorn), às margens do rio Vístula, na Polônia, e morreu no dia 24 de maio de 1543 em Frauenburg.

Seu nome verdadeiro, polonês, era Nikolas Kopernig ou Niklos Koppernigk. O nome Nicolaus Copernicus é seu nome latino. Em português o nome usado é Nicolau Copérnico.

Ele estudou matemática e astronomia na Universidade de Cracovia, na Polônia, mas abandonou a Universidade em 1494 sem ter obtido o grau acadêmico.

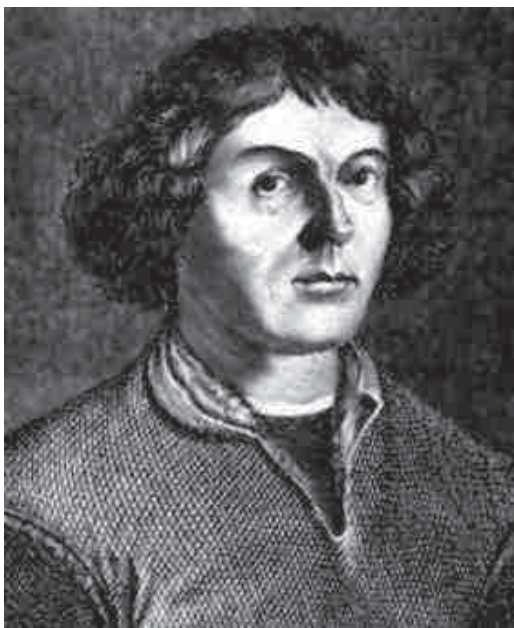
Copérnico viajou para a Itália onde estudou leis canônicas, medicina, filosofia e leis.

Quando terminou sua educação formal e assumiu compromissos de trabalho como cônego residente na catedral de Frauenberg, no Báltico, em 1512, Copérnico era matemático, astrônomo, jurista e médico.

A astronomia de Copérnico

Como quase todo astrônomo de sua época, Copérnico também estava interessado nas esferas celestiais. Ele adquiriu este interesse em 1497 quando era estudante na Itália e se tornou amigo e assistente de um astrônomo de Ferrara.

A principal preocupação de Copernicus era com as órbitas dos planetas. O modelo dominante até então, o sistema proposto por Ptolomeus, era razoavelmente satisfatório quando usado para justificar as observações. No entanto, na época de Copérnico o modelo proposto por Ptolomeus já não era mais capaz de reproduzir as posições planetárias que haviam sido observadas. À medida que Copernicus observava e registrava as posições dos planetas no céu, ele se deparava com a necessidade de fazer ajustes ainda mais detalhados às já complexas contorções impostas sobre os “astros errantes” (os planetas) no sistema



Nicolaus Copérnico (1473 - 1543).

estabelecido anteriormente por Ptolomeus.

Copérnico começou então a imaginar se o modelo de Ptolomeus poderia estar realmente correto. Seus estudos revelaram que na antiguidade, entre os gregos, haviam teorias rivais sobre os cosmos - incluindo até mesmo aquela de Aristarchus de Samus que declarava que a Terra se movia em torno do Sol.

Copernicus ficou intrigado com a noção de um sistema planetário heliocêntrico ou seja, centrado no Sol. Testando essa ideia com suas próprias observações ele encontrou que ela concordava com as evidências observacionais de um modo muito mais simples do que a solução de Ptolomeus.

Assim, para fugir dos problemas apresentados pelo modelo de Ptolomeus, Copérnico desenvolveu um modelo heliocêntrico do Sistema Solar. Ao contrário do que é comumente afirmado, Copérnico não tinha observações novas e muito mais precisas que exigissem o abandono da velha teoria de Ptolomeus. Foi a atração por uma maior harmonia matemática que o fez procurar algo diferente de Ptolomeus. Na opinião de Copérnico, quando Ptolomeus introduziu o movimento em torno do ponto equante em sua teoria, ele violou o princípio de que os corpos celestes deveriam se mover segundo um movimento circular uniforme. Além disso, na teoria heliocêntrica desenvolvida por Copérnico vários fenômenos observados ocorriam (quase) naturalmente, ao contrário do que acontecia na teoria de Ptolomeus onde esses fenômenos sempre precisavam ser ajustados.

O modelo heliocêntrico de Copérnico mantinha a noção de movimento circular perfeito mas, como o seu próprio nome diz, colocava o Sol no centro, além de estabelecer a ordem correta dos planetas a partir do Sol.

O ajuste não era ainda perfeito por que Copernicus ainda supunha que os planetas se moviam em órbitas circulares - um erro que seria futuramente corrigido por Kepler.

Por volta de 1530 Copernicus começou a circular um manuscrito, conhecido como

Commentariolus

que dava um esboço de suas ideias (existe a dúvida se o livro Comentaríolus foi escrito em 1530 ou em maio de 1514). Seu conteúdo era uma breve introdução seguida de sete axiomas ou postulados e os capítulos com os títulos “A ordem das esferas”, “Os movimentos aparentes do Sol”, “Os movimentos uniformes não devem se referir aos equinócios mas sim às estrelas fixas”, “A Lua”, “Os três planetas superiores: Saturno, Júpiter e Marte”, “Vênus” e “Mercúrio”.

Os cientistas da época mostraram interesse por “Comentaríolus”, embora sem a oposição apaixonada encontrada por Galileu no século seguinte.

Copernicus então começou a fazer planos para uma edição impressa de todo o seu trabalho.

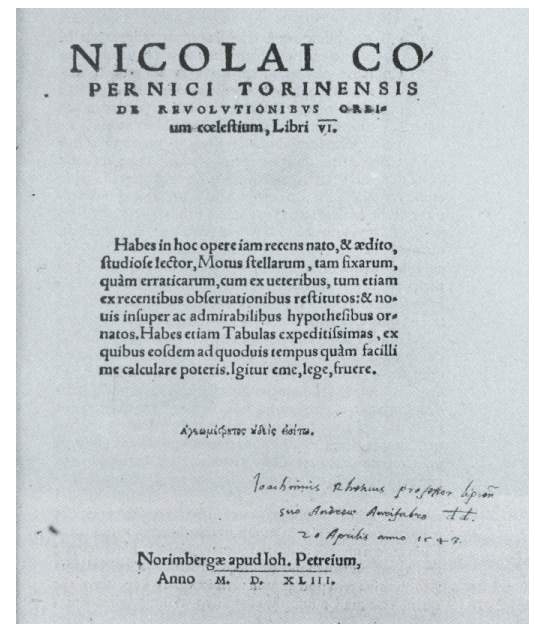
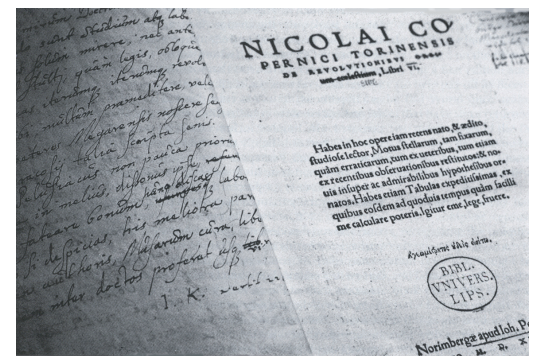
O modelo proposto por Copernicus, um grande tratado matemático, ficou pronto em 1530 mas só foi publicado em 1543, ano de sua morte, em um livro chamado

De Revolutionibus Orbium Coelestium

cujo nome quer dizer “Sobre as Revolução das Esferas Celestes”.

A tradição diz que o velho homem, que havia sofrido um derrame cerebral em 1542 e estava desde então acamado, agora com setenta anos, viu a primeira cópia do livro em seu leito de morte. Dizem que o livro tinha um prefácio não autorizado assinado por Osiander no qual ele procurava aplacar as críticas feitas pelo meio eclesiástico.

Ao contrário do que é comumente repetido, Copernicus não provou que a Terra se move em círculo em torno do Sol. Ele postulou isto citando um suposto



Imagens da página inicial da primeira edição do livro "De Revolutionibus" de Copérnico.

sub stellam fixam sphaera haudquam primari: sed cum mo-
 dera sit differentia, non nisi cum hoc gradibus satisfacta est:
 a ptolemaeo qd ad nos usq[ue] partim prope xxi: quibus illa
 iam antecipat. Quia ob consuetudinem alia stellam quae
 fixam sphaera moueri: quibus deinde noua sphaera superior
 placuit: quae diu non sufficit, nisi reuolutores deorsum supradicti
 uelam tamen sunt offerunt: quae perueniens ex uolui terrae nos
 consecuturas. Quo tamq[ue] principio et hypothesis ueterum i
 demonstrationibus alior[um]. Ed. ptolemaeo. Soli iuragressura
 I immutabilitate quae terra deorsum fieri posse. in ueterum uero
 reuolutores uicinas recipiunt. Cuiuslibet est huius sphaerae
 cauis ptolemaeo mobiliter in se prius, quod etia nonnulli
 Aristarchum famam ferunt in eade[] fuisse sententia. non illa
 ratione moti: quae allegat reprobatae Aristoteles. Sed cum
 tanta sint: quae nisi acri ingenio et diligentia duntaxat co-
 phendi non possent: latuisse tunc plerumq[ue] ptolemaeo: et fu-
 isse admodum pauca: qui eo se sideriorum motum calluerit
 ratione, a platonis non haurire. At si philolaos uel cuius
 pythagorico intellecta fuerit: uerifimile tantu[m] est ad po-
 ptolemaeo non profudisse. Exat eni pythagoricos obseruata
 non tradit hui[us] uis: ut periret omnibus uicinis ptole-
 maeo. Sed amorem duntaxat et propinquos: sicut comitate
 ac per manus tradere. Cuius rei monumentum extat

antigo axioma da física que dizia que “nada infinito pode ser movido” e daí concluiu que os céus deveriam estar em repouso. Ele também argumentou que a imobilidade era mais nobre e mais divina do que a instabilidade e, deste modo, ela deveria pertencer ao céu e não à Terra. Em momento algum Copernicus prova, em seu livro, que a Terra gira em torno do Sol.

Copernicus também faz uso de epiciclos para explicar o movimento dos planetas, exceto Mercúrio, para o qual ele, do mesmo modo que Ptolomeu, precisou desenvolver uma teoria mais complicada.

Muitos livros repetem que Copernicus é o começo de uma nova era na ciência, que o seu trabalho inicia a astronomia científica. No entanto, se formos olhar para detalhes mais técnicos ao escrevermos uma história da ciência, Copernicus ocupará o lugar de último dos velhos astrônomos ao invés de primeiro dos novos astrônomos. Para historiadores como Hugh Thurston, o primeiro grande cientista da nova era científica foi Johannes Kepler.

Esta é a página inicial da primeira edição do livro “De Revolutionibus” de Copernicus. Ela pertenceu a Johannes Kepler e mostra um poema introdutório, traduzido por Kepler e assinado com as suas iniciais.

Esta é a página título do “De Revolutionibus” onde vemos uma inscrição de Rheticus para o seu amigo Andrew Aurifaber. O parágrafo central desempenha o papel da moderna lombada de livro, pedindo que os leitores comprem, leiam e aproveitem. Este volume, que pertence a Harrison Horblit, já foi a leitura duas vezes tendo sido comprado por 400000 dólares.

Esta é a famosa passagem no manuscrito de Copernicus para o seu livro “De Revolutionibus” onde ele elimina uma seção sobre Aristarcos um pouco antes da sua publicação.

Esta é a página do manuscrito original de Copernicus onde ele desenhou o seu sistema heliocêntrico. O Sol está no centro circundado por Mercúrio (Merc), Vênus (Veneris), Terra (Telluris), Marte (Martis), Júpiter (Jovis), Saturno (Saturnus) e as estrelas fixas. Este manuscrito está na biblioteca da Universidade de Cracow, na Polônia.

Entre os pontos que Copernicus propôs em seu livro “De Revolutionibus Orbium Coelestium” estão:

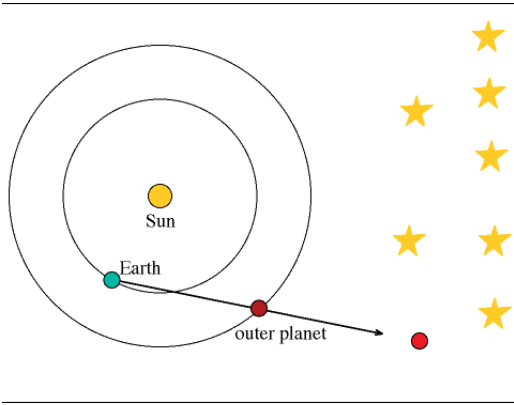
- o Sol é o centro do Sistema Solar
- a Terra e os planetas descrevem órbitas circulares em torno do Sol
- o dia e a noite são o resultado da rotação da Terra em torno de seu eixo
- Mercúrio e Vênus estão mais próximos ao Sol do que a Terra
- somente 3 movimentos da Terra são necessários
 - ▶ rotação diária em torno de seu eixo
 - ▶ revolução anual em torno do Sol
 - ▶ oscilação ou libração da Terra em torno do seu eixo, explicando a precessão dos equinócios.

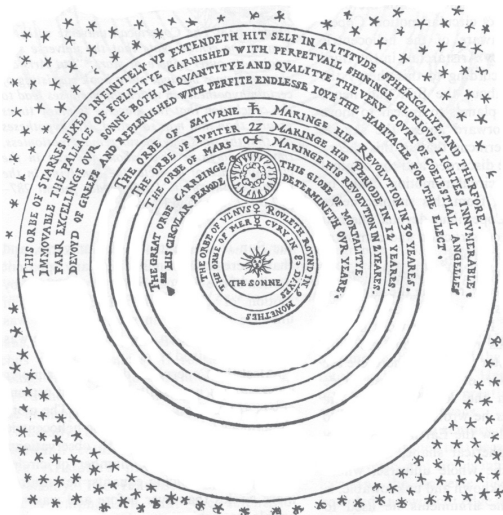
Note que Copernicus coloca os planetas visíveis ao olho nu na sequência correta a partir do Sol ou seja, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno.

Embora Copernicus não fosse um observador, ele tem o mérito de ter provido o sistema heliocêntrico, isto é o sistema no qual o movimento da Terra e dos planetas é realizado em órbita em torno de um Sol fixo.

Copernicus reconheceu que, ao supor que os planetas estão em órbita em torno do Sol em vez de estarem em órbita em torno da Terra, ele poderia facilmente explicar o movimento retrógrado observado em alguns planetas tal como Marte.

O movimento retrógrado não é um movimento real mas sim um movimento aparente. Ele ocorre devido à diferença nas velocidades dos planetas. O





No entanto, Digges está o tempo todo dominado pela concepção religiosa de um “céu” situado no espaço. O texto que Digges acrescenta a esta figura diz que:

O orbe das estrelas fixas se estende esféricamente na altitude infinitamente para o alto e [é] por consequência imóvel.

Sua religiosidade se manifesta quando ele diz que este orbe é:

o palácio da felicidade, adornado de inumeráveis luzeiros gloriosos, resplendendo perpetuamente e ultrapassando de longe em excelência nosso Sol, tanto em quantidade quanto em qualidade.

Ele também acrescenta que o orbe é:

a corte do grande Deus, a habitação dos eleitos e dos anjos celestes.

Vemos, portanto, que Thomas Digges não descreve um céu astronômico mas sim teológico.

Giordano Bruno

Giordano Bruno nasceu em Nola, perto de Nápoles, Itália. Ele tornou-se religioso dominicano e estudou a filosofia aristotélica. Atraído pelo pensamento não ortodoxo, Giordano Bruno logo teve que deixar Nápoles, em 1576, e Roma, em 1577, para escapar da Inquisição.

Ele foi então para a França, onde viveu até 1583. Depois mudou-se para Londres onde permaneceu até 1585.

Bruno estava vivendo em Londres quando conheceu o livro de Thomas Digges. Ele prontamente adotou as ideias ali contidas, que falavam de um universo sem contorno, e voltou sua atenção para a conclusão lógica, previamente mostrada por Nicholas de Cusa, de que o universo também não possui centro.

Giordano Bruno procurou desenvolver os ensinamentos de Copernicus de uma maneira filosófica. Seu maior trabalho foi divulgar, com veemência, essas ideias. Giordano foi um forte crítico das doutrinas de Aristóteles e Ptolomeus tornando-se um dos grandes defensores das teorias de Democritus e Epicurus.

Ele rejeitava os ensinamentos de Aristóteles que diziam que o universo era finito. Ele também criticava a ideia de que havia um centro absolutamente determinado no universo

Giordano Bruno deve ser considerado o principal representante da doutrina do Universo descentralizado, infinito e infinitamente povoado. Ele não só a apregou em toda a Europa Ocidental com o fervor de um evangelista como foi o primeiro a formular sistematicamente as razões pelas quais ela, mais tarde, foi aceita pela opinião pública.

Giordano Bruno escreveu vários livros:

- Candelaio (1582)
- De umbris idearum (1582)
- Cena de le Ceneri (1584)
- De la causa, principio e uno (1584)
- De l'infinito, universo e mondi (1584)



Giordano Bruno (1548 - 1600).

- Spaccio de la bestia trionfante (1584)
- De gli eroici furori (1585)
- De minimo (1591)
- De monade (1591)
- De immenso et innumerabilis (1591)

Em 1584 Giordano Bruno escreveu seus mais importantes trabalhos. No seu livro “La Cena de le Ceneri” Giordano Bruno apresenta a melhor discussão e refutação, escrita antes de Galileu, das objeções clássicas, sejam elas aristotélicas ou ptolomaicas, contra o movimento da Terra. Neste texto ele defendia com ardor a teoria heliocêntrica.

No seu livro “De l’infinito, universo e mondi” ele afirma de maneira precisa, resoluto e consciente que o espaço é infinito. Ele também tem a ousadia de afirmar que movimento e mutação são sinais de perfeição e não de ausência de perfeição. Um universo imutável seria um universo morto. Um universo vivo tem de ser capaz de mover-se e de se modificar.

Segundo Bruno como poderia o espaço “vazio” deixar de ser uniforme ou vice-versa, como poderia o “vazio” uniforme deixar de ser ilimitado e infinito? Do ponto de vista de Bruno a concepção aristotélica de um espaço fechado no interior do mundo é não só falsa como absurda.

Neste livro Giordano também afirma que o universo contém um número infinito de mundos habitados por seres inteligentes.

As afirmações de Giordano Bruno eram avançadas demais para a época em que ele vivia. Ao contrário de Digges, Giordano Bruno não imergiu os corpos celestes nos céus da teologia: ele nada nos fala sobre anjos e santos. Isso era demais para ser tolerado.

Em 1591 Giordano Bruno mudou-se para Veneza onde foi preso pela Inquisição e julgado. Devido às suas declarações Giordano Bruno foi enviado para Roma, para um segundo julgamento, onde permaneceu preso em uma cadeia eclesiástica e foi continuamente interrogado até o ano 1600. Após ter sido torturado, e bravamente ter se recusado a se retratar das ideias que propagava, Giordano Bruno foi queimado vivo em uma praça pública no ano 1600 em Roma, Itália.



Tycho Brahe (1546 - 1601).

Tycho Brahe

Também chamado Tyge Brahe, este astrônomo dinamarquês, descendente de família nobre, nasceu no dia 14 de dezembro de 1546 em Knudstemp (Schoenen) e morreu no dia 24 de outubro de 1601 em Praga.

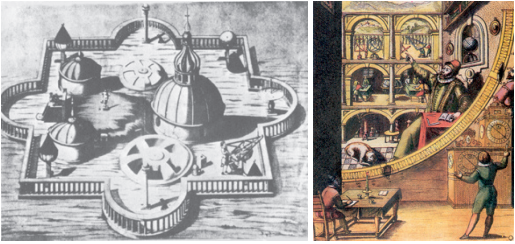
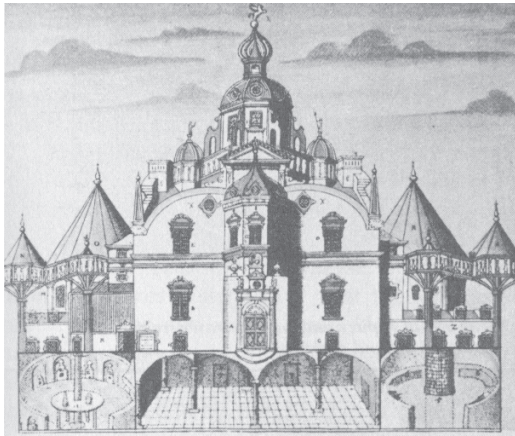
Tycho Brahe é lembrado principalmente por suas meticulosas observações, feitas com instrumentos que ele mesmo desenhou antes do surgimento do telescópio.

Tycho Brahe observou uma supernova em 1572 tendo publicado um livro sobre este fenômeno em 1573, com o nome “De Nova Stella”, onde mostrava suas observações e concluiu que as próprias estrelas podiam mudar. As medições dos brilhos da supernova que ele obteve mostraram, claramente, que ela era um objeto variável.

Nota-se que Brahe hesitou muito em escrever este livro porque, naquela época, era considerado impróprio um nobre escrever livros.

Em 1576, o rei Frederick II da Dinamarca cedeu a Tycho Brahe uma ilha inteira a leste de Copenhagen, chamada Hven (ou Hveen). Esta ilha atualmente pertence à Suécia e tem o nome de Ven.

Brahe construiu nesta ilha, para ele mesmo, um observatório sob encomenda, o observatório de Uraniborg onde realizou suas primeiras observações com os instrumentos que ele mesmo fabricava.



Brahe gastou 20 anos de sua vida realizando observações astronômicas em Uranienborg. Mais tarde, ele construiu um outro observatório, o Stjerneborg.

Estes são os observatórios astronômicos construídos por Tycho Brahe, o observatório Uraniborg (a esquerda) e o observatório Stjerneborg (a direita). Na imagem do observatório Stjerneborg, palavra que significa “castelo das estrelas”, podemos ver vários tipos de instrumentos usados naquela época. Stjerneborg e Uranienborg, ambos situados na ilha Hven, foram os mais avançados observatórios da época que antecedeu à descoberta do telescópio.

É muito importante destacar que estamos falando de observações feitas **antes** da descoberta do telescópio, que só ocorreu em 1609. Como então essas observações eram feitas? Outros instrumentos eram utilizados e alguns deles são mostrados abaixo.

A imagem colorida acima mostra o observatório de Tycho em Uraniborg, Dinamarca, em 1587. Aqui Tycho é visto mostrando o quadrante mural, isto é, um grande quarto de círculo sobre uma parede, que ele usava para medir as altitudes nas quais as estrelas e os planetas cruzavam o meridiano. O observador está à direita do centro enquanto que a luz entra pela janela estreita na parte superior esquerda. Vários instrumentos são mostrados nos nichos que estão ao fundo.

Este é um outro instrumento usado pelos astrônomos da época. É a armilária equatorial de Tycho, com um círculo de declinação com 2,90 metros de diâmetro.

Este é o grande sextante que Tycho Brahe construiu e usava em suas observações. Este equipamento não tem qualquer relação com o instrumento moderno de navegação que conhecemos com o nome de sextante. Na verdade, o equipamento de Tycho Brahe correspondia a 1/6 de um círculo, daí o seu nome “sextante”, que era conectado a um pedestal por uma junta universal que permitia que ele girasse em qualquer direção.

Usando esses equipamentos Tycho Brahe observou, em 1577, um cometa. As medições de paralaxe feitas por ele demonstraram que estes objetos estavam além da Lua. Brahe começou a escrever um livro sobre este cometa mas nunca o terminou.

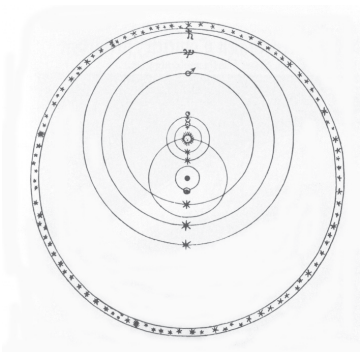
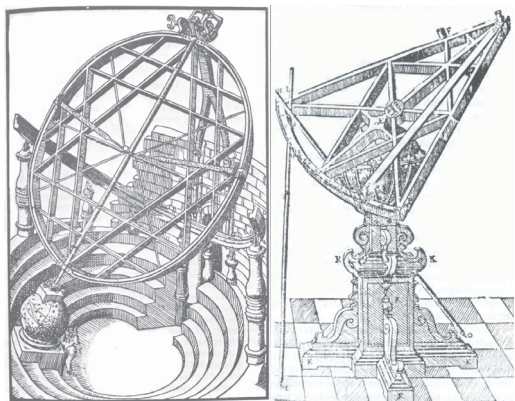
A natureza agressiva de Tycho o levou a duelar e, como resultado disto, ele perdeu parte do seu nariz. A prótese escolhida por ele foi um nariz de prata. Este seu temperamento, no fim das contas, colocou-o em desgraça.

Em 1596 Tycho Brahe teve uma polêmica com o rei sobre questões religiosas. Como consequência, o generoso fundo dado pelo governo foi cortado pelo sucessor do rei Frederick II. Aborrecido com isso Tycho aceitou o convite feito pelo imperador Rudolf II que morava no castelo de Benatky, na Boêmia, próximo a Praga, República Tcheca. Tycho então se transfere, com seus instrumentos, para a corte de Rudolph II, em Praga, em 1599, onde ele passaria suas observações para Johannes Kepler.

Curiosamente, durante os anos de 1600 dois dos mais importantes astrônomos europeus, refugiados, foram convidados do imperador Rudolph II. O mais velho deles foi Tycho Brahe. O outro era Johannes Kepler.

Tycho Brahe foi talvez o maior observador de todos os tempos. Ele desenvolveu novos instrumentos e novas técnicas para realizar observações.

Kepler usou as observações de Tycho Brahe para deduzir as suas leis das órbitas planetárias. Foi a precisão das observações de Brahe que permitiram que Kepler determinasse corretamente que as órbitas dos planetas são elipses com o Sol em um dos focos.



A COSMOLOGIA DE TYCHO BRAHE

As medições das posições planetárias feitas por Tycho Brahe estavam em desacordo com o modelo de Ptolomeus.

Baseado nisto Brahe, que já era conhecido em toda a Europa, desenvolveu o seu próprio modelo do Sistema Solar no qual o Sol e a Lua estavam em órbita em torno da Terra, mas os planetas restantes estavam em órbita em torno do Sol.

A imagem acima é uma versão simplificada do modelo para o cosmos feito por Tycho Brahe. O Sol se move em torno da Terra e todos os planetas circulam ao redor do Sol.

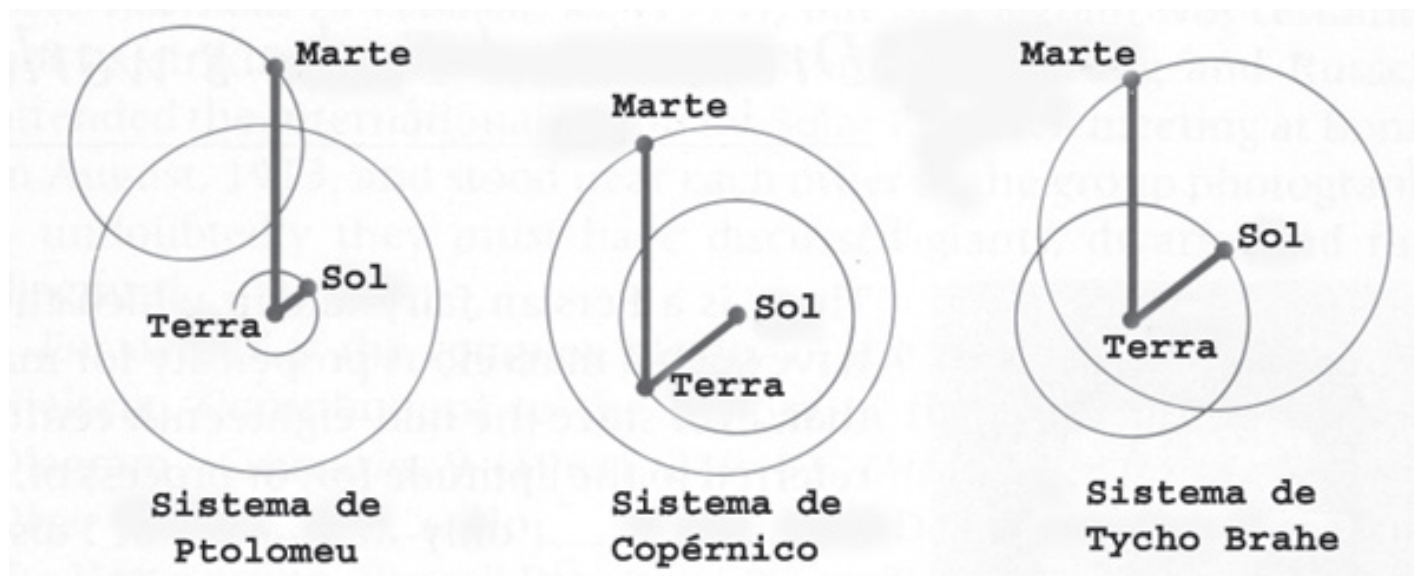
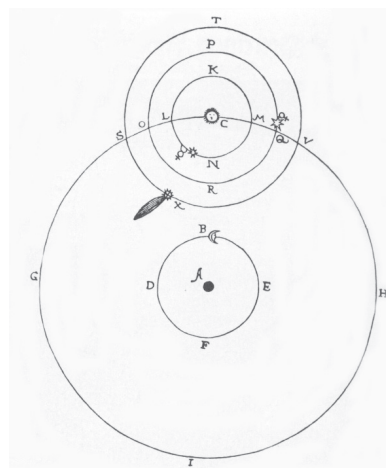
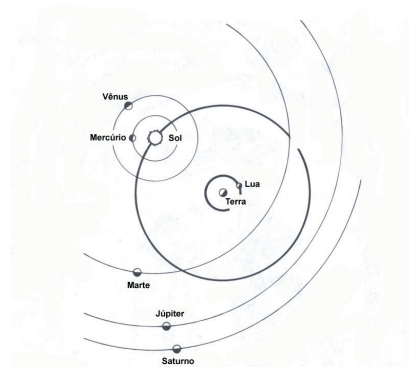
Na verdade o modelo de Tycho Brahe era uma modificação geocêntrica do modelo de Copérnico. Seu sistema era inteiramente equivalente ao sistema de Copérnico, no sentido de que os movimentos *relativos* de todos os corpos celestes (exceto as estrelas) são os mesmos nos dois sistemas.

Esta imagem, desenhada sem escala, mostra detalhes do sistema de Tycho Brahe.

O cometa de 1577 também aparece nesta ilustração reproduzida do livro de Tycho sobre aquele cometa, publicado em 1588, onde o sistema solar está totalmente registrado. Aliás, foi a observação desse cometa, que cruzou as “órbes” planetárias (as esferas celestes onde estavam os planetas), que o levou a concluir que “a estrutura do céu era muito fluida e simples”. Tycho se opôs à visão de outros filósofos que dividiam o céu em “várias orbes feitas de matéria dura e impenetrável”.

A imagem abaixo compara os modelos cosmológicos de Ptolomeu, Copernico e Tycho Brahe.

Embora a cosmologia de Tycho Brahe tenha sido logo esquecida, sua grande reputação atual resulta do fato dele ter fornecido as bases observacionais que permitiram Kepler desenvolver a sua pesquisa.



Johannes Kepler

Johannes Kepler nasceu no dia 27 de dezembro de 1571 em Weil (Wurttemberg), na Alemanha, e morreu no dia 15 de novembro de 1630 em Ratisbona.

Ele foi um dos mais importantes cientistas do seu tempo e pode-se dizer que, sem os seus trabalhos, a física desenvolvida posteriormente por Newton talvez não existisse.

Kepler era matemático e místico, interessado principalmente nas relações numéricas entre os objetos do Universo. Ele descreveu a sua busca pela ciência como um desejo de conhecer a mente de Deus.



Johannes Kepler (1571 - 1630).

Kepler logo se convenceu de que Copernicus tinha razão. No entanto, suas primeiras tentativas de criar um modelo que descrevesse os movimentos dos planetas baseou-se fortemente na ideia aristotélica de que eles deveriam se mover sobre esferas. Ele também deixou-se levar pela geometria de Platão e a mistura dessas ideias fez com que Kepler desenvolvesse um estranho modelo para o Sistema Solar.

Segundo Kepler os seis planetas conhecidos na sua época (Mercúrio, Vênus, terra, Marte, Júpiter e Saturno) moviam-se sobre a superfície de esferas e isso deveria ser casado com os cinco sólidos perfeitos destacados por Platão (cubo, tetraedro, octaedro, icosaedro e dodecaedro). Para ele os tamanhos relativos das esferas sobre as quais os planetas se moviam eram obtidos da seguinte maneira:

- em volta da esfera cristalina sobre a qual a Terra se move devemos colocar um dodecaedro.
- Marte se moverá sobre uma esfera colocada em torno deste dodecaedro.
- coloque um tetraedro em torno da esfera cristalina sobre a qual Marte se desloca e envolva-a por uma outra esfera cristalina. Esta é a órbita de Júpiter.
- em torno da esfera cristalina sobre a qual Júpiter se desloca coloque um cubo. Circunde-o com uma esfera cristalina. Sobre ela Saturno se move.
- coloque um icosaedro dentro da esfera cristalina que determina a órbita da Terra. Vênus irá se deslocar sobre uma esfera cristalina contida dentro desse icosaedro.
- coloque um octaedro dentro da esfera cristalina que determina a órbita de Vênus. Mercúrio irá se mover sobre a esfera cristalina que está dentro do octaedro.

Vemos, portanto, que Kepler ordenou os sólidos de Platão segundo a sequência octaedro, icosaedro, dodecaedro, tetraedro e hexaedro (cubo).

Kepler gastou 20 anos de sua vida tentando fazer esse modelo funcionar e, obviamente, não conseguiu. No entanto este trabalho fez com que ele fosse reconhecido como cientista.

Os problemas religiosos que nessa época existiam por toda a Europa fizeram com que Kepler, por ser protestante, fosse expulso da universidade no ano 1600. Ele foi obrigado a deixar seu posto de pesquisador em Graz, Áustria.

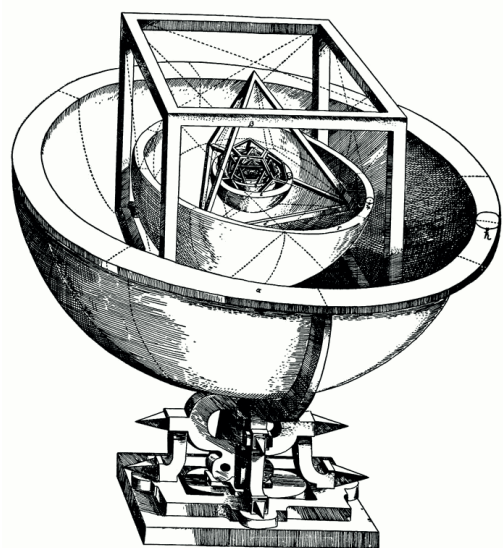
A pedido de Tycho Brahe, Kepler foi convidado pelo imperador Rudolf II, da Boêmia, para trabalhar com ele. Mais jovem do que Tycho Brahe, Kepler foi para Praga trabalhar com este grande observador. Isso foi fundamental para ele que agora tinha à sua disposição os preciosos dados observacionais de Tycho Brahe.

Tycho Brahe, após convidar Kepler em 1600 para realizar suas pesquisas em Praga, morreu no ano seguinte. Kepler herdou seus instrumentos e os resultados detalhados de uma vida inteira de observações.

Em 1602-1603 Kepler editou e publicou o trabalho de Tycho, *Astronomiae instauratae progymnasmata* ("Começo de uma nova astronomia"). Esse livro dava a posição precisa de 777 estrelas.

As leis de Kepler

Usando as observações de alta qualidade, sem precedente, de Tycho Brahe, Kepler pode fazer cálculos altamente precisos das órbitas planetárias.



Modelo geométrico do Sistema Solar desenvolvido por Kepler.

Embora Kepler pudesse ter obtido resultados quase coincidentes aos dados experimentais de Tycho Brahe se tivesse usado órbitas circulares perfeitas, era tanta a confiança que ele tinha nos dados observacionais de Brahe que continuou a insistir nos cálculos até conseguir igualar a precisão anteriormente obtida por Brahe.

Com as informações que Tycho Brahe reuniu ao longo de tantos anos sobre os movimentos planetários, junto com suas próprias observações contínuas, Kepler estava agora em condições de publicar - em Praga - suas mais significativas descobertas. Em 1609 Johannes Kepler publicou seu livro

Astronomia nova aitologetos

Um vasto volume de quase 400 páginas, onde ele apresentava uma das maiores revoluções na astronomia. Neste livro Kepler revelava ao mundo científico duas importantíssimas leis relacionadas com o movimento planetário: a lei das órbitas elípticas e a lei das áreas. Sua *Astronomia nova* apresenta a afirmação correta e radical de que os planetas se movem em órbitas elípticas em vez de circulares. Com isso ele removia a última anomalia existente no modelo heliocêntrico de Copernicus. O modelo proposto por Copernicus passava a ser agora, inequivocamente, uma explicação mais simples dos fenômenos observados do que a versão de Ptolomeus.

A chamada terceira lei do movimento planetário, a lei que relaciona o período orbital com as distâncias, foi publicada em outro livro de Kepler, editado em 1619 com o título

Harmonice mundi

Resumindo, Kepler desenvolveu três regras matemáticas que eram capazes de descrever as órbitas dos planetas. Segundo Kepler

- as órbitas dos planetas são elipses onde o Sol ocupa um dos focos (imagem 1).
- os planetas percorrem áreas iguais da sua órbita em intervalos de tempos iguais (imagem 2).
- o quadrado do período orbital é proporcional ao cubo das distâncias planetárias medidas a partir do Sol (imagem 3).

As consequências do trabalho de Kepler

É muito interessante verificar o que estas leis modificam na astronomia antiga.

A primeira lei de Kepler elimina o movimento circular que tinha sido aceito durante 2000 anos.

A segunda lei de Kepler substitui a ideia de que os planetas se movem com velocidades uniformes em torno de suas órbitas pela observação empírica de que os planetas se movem mais rapidamente quando estão mais próximos do Sol e mais lentamente quando estão mais afastados.

A terceira lei de Kepler é precursora da Lei da Gravitação que seria desenvolvida por Newton na parte final do século 17.

Além disso, de modo bastante óbvio, as três leis de Kepler exigem que o Sol esteja no centro do Sistema Solar, em contradição com a ideia de Aristóteles.

A astronomia muda para sempre

Mais importante do que descrever órbitas ou posições de planetas, as leis de Kepler são, na verdade, consequências de princípios muito mais fundamentais. Quando as leis de Newton, que descrevem o movimento dos corpos e a

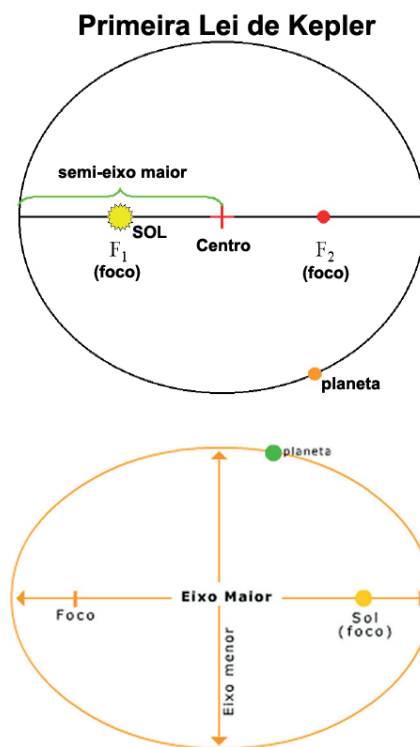


Imagem 1.

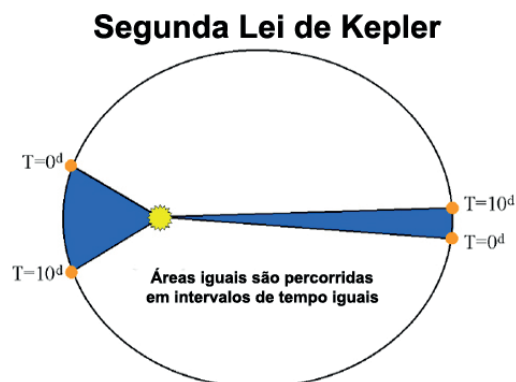


Imagem 2.

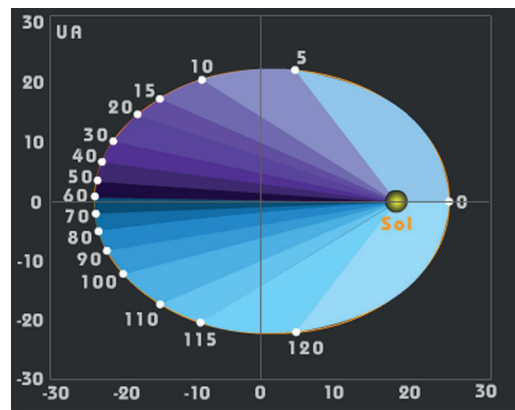
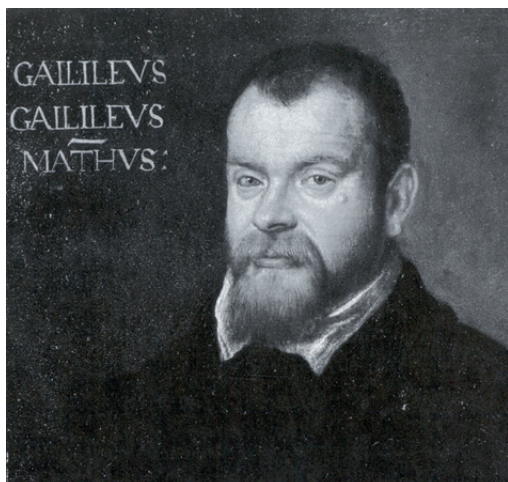


Imagem 3.



Galileo Galilei (1564 - 1642).

gravitação são aplicadas aos sistemas planetários, elas se reduzem às leis de Kepler. Deste modo, a astronomia e a física passaram a ser ligadas para sempre.

Os trabalhos de Kepler iniciam uma nova era. A partir de Galileu, o uso dos telescópios foi se tornando uma necessidade cada vez maior na astronomia. Equipamentos cada vez mais poderosos passaram a revelar os mais incríveis segredos guardados há milhares de anos no céu. Com o uso dos telescópios, e com a fusão entre a astronomia e a física, a astronomia nunca mais seria a mesma.

Galileo Galilei

Galileo nasceu no dia 18 de fevereiro de 1564 em Pisa, Itália, e morreu no dia 8 de janeiro de 1642 em Arcetri.

A imagem ao lado, é uma pintura de Galileo feita por Domenico Robusti, filho do grande pintor Tintoretto, em 1605-1607, quando Galileo tinha cerca de 42 anos e vivia em Pádua.

Pela sua maneira de ver a ciência e pelos trabalhos apresentados Galileo é considerado por vários historiadores como o primeiro “cientista moderno”.

Foi Galileo que argumentou que a matemática, ao invés de ser uma perfeição, é a verdadeira linguagem da ciência.

As ideias de Copernicus, lançadas em 1543, permaneciam como teoria. Elas ainda não haviam feito qualquer estrago na aceitação ortodoxa da teoria de Ptolomeu. Os mais importantes astrônomos da época já estavam convencidos do valor da teoria de Copernicus mas discutiam e desenvolviam o tema em privacidade. A instituição igreja, guardiã da verdade, vigiava atentamente qualquer tentativa de debate público sobre esses temas.

Esta situação mudaria abruptamente em 1610 quando Galileo descobriu uma firme prova das teses de Copernicus.

Galileo e o telescópio

Na época de Galileo as lentes de vidro já eram conhecidas há cerca de 300 anos. A data e o local de sua origem não são claras, mas elas eram usadas por fabricantes de óculos para corrigir defeitos da visão humana. É bom lembrar que os ópticos daquela época não tinham a menor ideia dos princípios físicos que poderiam justificar o funcionamento de seus “vidros” e, conseqüentemente, a construção de óculos era feita de um modo puramente experimental.

No verão de 1609, um mensageiro que retornava a Veneza vindo da Holanda contou a um professor de matemática da cidade de Padua, Galileo Galilei, que um holandês havia inventado recentemente um aparelho que fazia objetos distantes ficarem mais próximos.

Galileo imediatamente construiu um telescópio para ele mesmo testar o seu princípio. Ele chamou seu primeiro telescópio de “perspicillum”. Já em 1609 Galileo usou-o, pela primeira vez, para estudar os céus. A imagem a esquerda mostra dois dos telescópios construídos por Galileo em uma montagem que inclui uma lente objetiva quebrada.

A imagem a esquerda mostra a lente do maior telescópio feito por Galileo e que foi acidentalmente quebrada por ele. Galileo montou a lente no centro deste quadro de marfim.

Astutamente, Galileo construiu uma versão muito melhorada do telescópio e a ofertou ao Doge de Veneza, Itália. Padua era governada por Veneza e o senado veneziano, muito impressionado, dobrou o salário de Galileo, confirmando-o em seu posto para toda a vida.

Agora, com uma situação financeira bem definida, Galileo se estabeleceu em Padua e passou a fazer uso sério do novo instrumento apontando-o para o céu noturno.

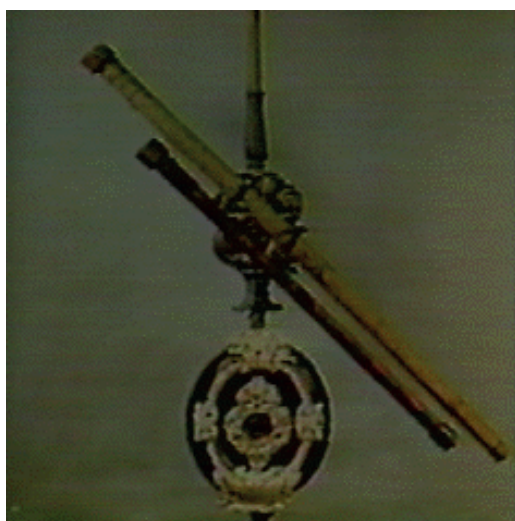
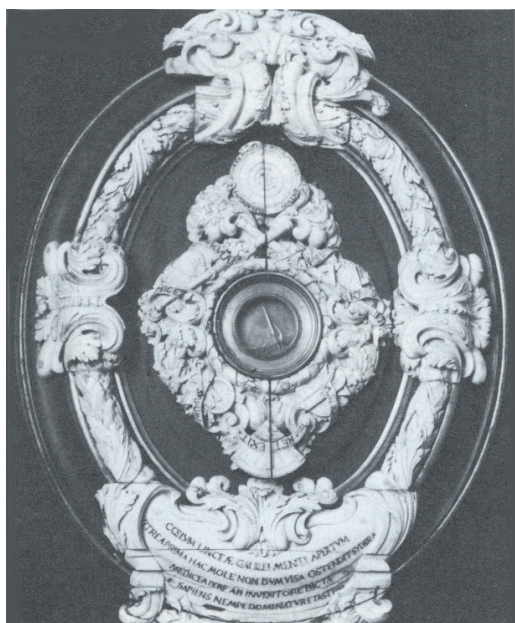


Imagem da luneta.



Em um ano Galileo melhorou tanto seu telescópio que agora tinha à sua disposição um instrumento capaz de aumentar 30 vezes. Usando estes telescópios que ele mesmo projetava e construía, Galileo, durante o ano de 1610, fez algumas surpreendentes descobertas astronômicas, algumas delas com enormes consequências filosóficas.

Uma das mais importantes decorrências de suas observações foi o fato de Galileo ter notado que para qualquer parte do céu que ele olhasse com o seu telescópio, ele via mais e mais estrelas. Isto refutava a ideia de Aristóteles de que o céu continha somente um certo número de estrelas e que este número conhecido não poderia ser mudado.

O “Siderius Nuncius”

No dia 12 de março de 1610 Galileo publicou um relatório geral de suas observações. O texto tinha o título “Siderius Nuncius” (O Mensageiro Sideral) onde ele descrevia suas primeiras descobertas com o telescópio.

A página título do Siderius Nuncius de Galileo anuncia ele mesmo como um florentino que ensina em Padua e que recentemente usou um “perpicillum” para examinar a Lua, as estrelas fixas, e a Via Láctea e descobrir as quatro “estrelas Mediceanas” (“Medicea Sidera”) que se movem em torno de Júpiter com “surpreendente velocidade”.

Esse livro trouxe fama imediata para Galileo. Sua publicação fez com que Galileo conseguisse o trabalho que ele procurava na corte do grão-duque Cosimo II de Medice, em Florença (imagem a direita). Ele foi até mesmo bem recebido em 1611 na Roma papal.

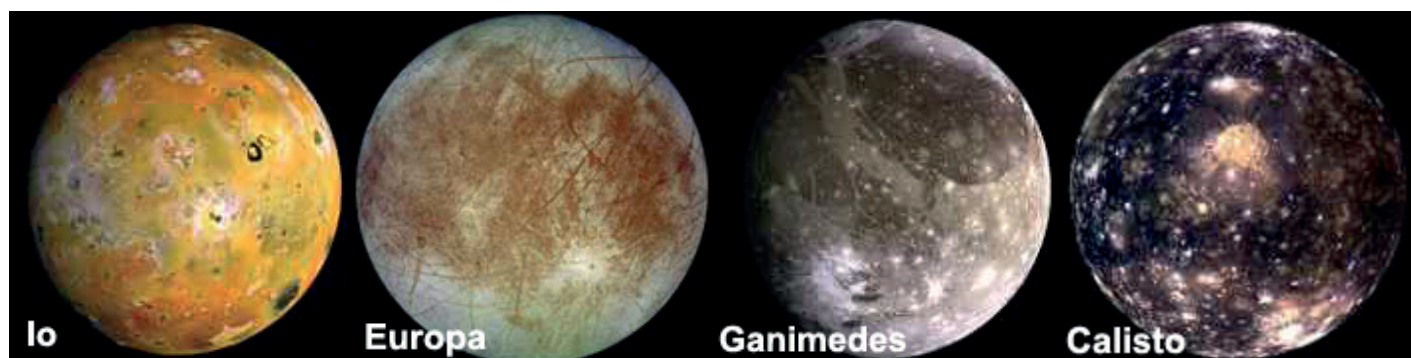
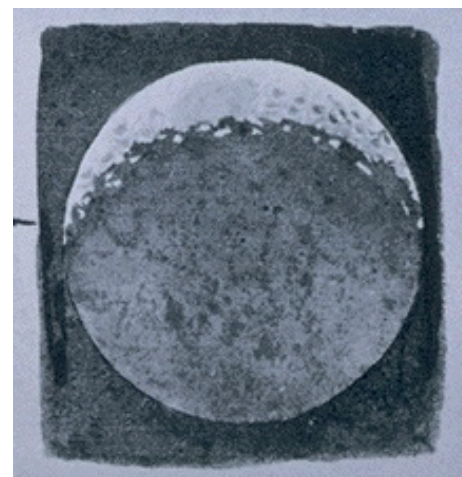
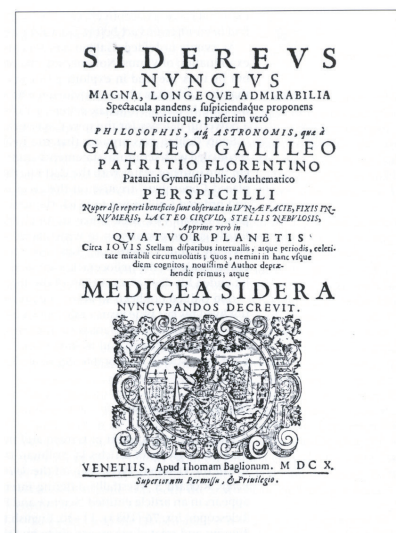
Como haviam quatro irmãos Medice, Galileo considerou chamar os quatro satélites de Júpiter que ele havia revelado de “Estrelas Mediceanas”. No entanto, ele achou que isto poderia diminuir o impacto sobre Cosimo, o mais poderoso e mais velho dos quatro irmãos Medice. Galileo decidiu então chamar os satélites de Júpiter de “Estrelas Cosmicanas” numa alusão a Cosimo. O secretário do duque Cosimo logo alertou Galileo que este nome parecia demais com “Estrelas Cóslicas”, o que faria a homenagem perder o sentido. Galileo dirigiu-se à gráfica onde o Siderius Nuncius estava sendo impresso e colocou uma pequena fita sobre o texto original, mudando-o para “Estrelas Mediceanas”.

Entre as descobertas reveladas por Galileo no Siderius Nuncius estavam as crateras e montanhas na Lua. A partir desta revelação, Galileo notou que a Terra não era tão diferente dos objetos celestes.

A descoberta de montanhas na Lua mostrava que o nosso satélite era parecido com a Terra e não tinha uma superfície suave e esférica como as ideias de Aristóteles exigiam para os corpos celestiais perfeitos.

A Lua, de modo algum, era o globo etéreo de cristal puro imaginado por Aristóteles.

À direita um dos desenhos da Lua apresentados por Galileo no Siderius Nuncius.



como Ptolomeus afirmava, estes satélites a rachariam. Deste modo, ao contrário do que muitos filósofos pensavam, outros objetos no Sistema Solar também tinham satélites em órbita em torno deles.

Vênus passava por um intervalo inteiro de fases e Saturno possuía anéis, como ele escreveu no *Siderius Nuncius*.

Ao observar o Sol, Galileo viu manchas que, ao longo de um período de tempo, se moviam através de sua superfície. A implicação evidente era que o próprio Sol estava girando, não fixado à sua própria esfera de cristal como Ptolomeus queria.

As observações de Galileo sugeriram que os céus eram tão “imperfeitos” quanto a Terra. Mais ainda, elas o levaram à conclusão de que o modelo de Copérnico do Sistema Solar era preferível ao modelo de Ptolomeus.

As ideias de Galileo e a ciência oficial

Com a publicação do livro *Istoria e dimostrazioni intorno alle machie solari* e vendo as afirmações ali contidas, os círculos tradicionais se sentiram ultrajados.

Logo depois da chegada de Galileo a Roma, o Santo Ofício decidiu ponderar sobre duas importantes proposições:

1. que o Sol é o centro do Universo e, conseqüentemente, não é alterado por qualquer movimento local.
2. que a Terra não está no centro do Universo nem é sem movimento, mas se move como um todo, e também tem movimento diurno.

No dia 24 de fevereiro de 1616 a primeira proposição foi declarada “formalmente herética” e a segunda “errônea na fé”.

Um decreto papal de 1616 colocou Copernicus e sua teoria no índice de material censurado pela igreja. Não só os trabalhos de Copérnico foram censurados, como também o foram todos os outros livros que ensinavam a mesma doutrina. Na verdade o texto “De Revolutionibus” de Copérnico foi apenas censurado e não banido, em parte devido aos argumentos do cardeal Barberini, que mais tarde se tornaria o papa Urbano VIII.

Galileo por ser profundamente religioso e respeitar a Igreja Católica logo tomou providências para seguir as recomendações da Sagrada Congregação do Índice.

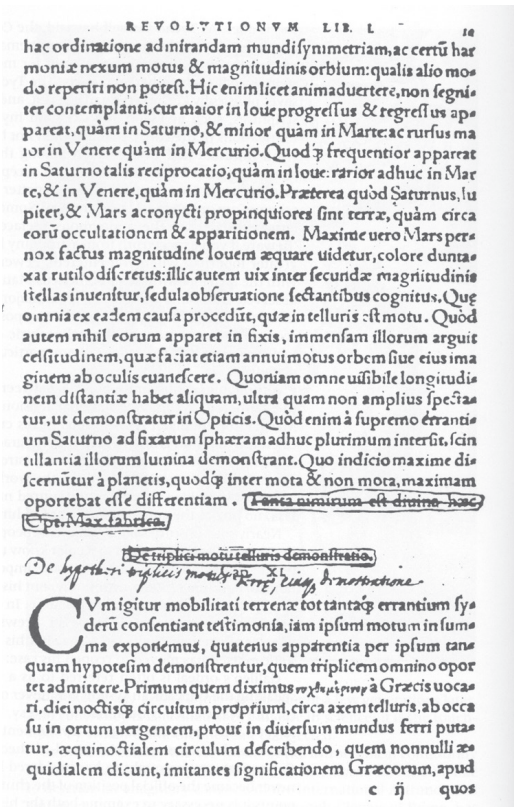
A imagem ao lado mostra passagens no texto de Copernicus, pertencente a Galileo, que foram censuradas por seu próprio punho em 1616 em acordo com o que havia sido recomendado pela Sagrada Congregação. Nele vemos que Galileo cortou a última sentença do capítulo 10 do “De Revolutionibus” em que estava escrito: “*Tão vasto, sem qualquer dúvida, é a divina obra do mais excelente Todo Poderoso*”. Galileo também mudou o título do capítulo seguinte de “Sobre a explicação do movimento triplo da Terra” para “Sobre a hipótese do movimento triplo da Terra e sua explicação”.

Quanto a Galileo, o cardeal Bellarmino foi instruído pelo papa a adverti-lo a abandonar os pontos de vista censurados.

No dia 26 de fevereiro, na presença do Comissariado Geral do Santo Ofício, o cardeal Bellarmino chamou a atenção de Galileo.

Galileo obteve do cardeal Bellarmino a seguinte declaração:

“Nós, Roberto Cardeal Bellarmino, tendo ouvido que é caluniosamente citado que o Senhor Galileo Galilei em nossas mãos abjurou e também foi punido com



Capítulo 10 do “De Revolutionibus”.

saudável penitência por isto; e averiguações terem sido feitas no que diz respeito à verdade, dizemos que o dito senhor Galilei não abjurou qualquer opinião ou doutrina dele em nossas mãos nem naquela de qualquer outra pessoa em Roma, muito menos em qualquer outro lugar, no nosso conhecimento; nem ele recebeu penitência de qualquer tipo; mas somente foi dito a ele a decisão feita por Sua Santidade e publicada pela Sagrada Congregação do Índice, na qual é declarado que a doutrina atribuída a Copernicus, de que a Terra se move em torno do Sol e que o Sol está fixo no centro do Universo sem se mover de leste para oeste, é contrária às Santas Escrituras, e por conseguinte não pode ser defendida ou sustentada.”

Galileo foi forçado a se ocupar pelos próximos sete anos com outros estudos. Mas em 1623 uma outra chance foi dada a ele.

Após a eleição do cardeal Barberini à cadeira papal em 1623 como o papa Urbano VIII, Galileo decidiu testar, de novo, a disposição da igreja no que diz respeito à teoria de Copernicus.

Naquele ano ele publicou “O Ensaaiador” e o dedicou ao papa Urbano, que, dizem, ficou muito agradecido pela dedicatória.

Então, em abril de 1624, Galileo foi para Roma, tendo sido calorosamente acolhido pelo papa. Embora seus apelos para que o decreto de 1616 fosse revogado tivessem sido recebidos com evasivas, Galileo ficou com a impressão de que o debate sobre a teoria de Copernicus não teria oposição.

O Papa Urbano VIII deu permissão para que Galileo comparasse os sistemas de Copernicus e Ptolomeus. No entanto, o Papa estabeleceu uma condição: nenhuma conclusão deveria ser alcançada quanto a verdade de qualquer uma das teorias uma vez que somente Deus sabe como ele criou o universo.

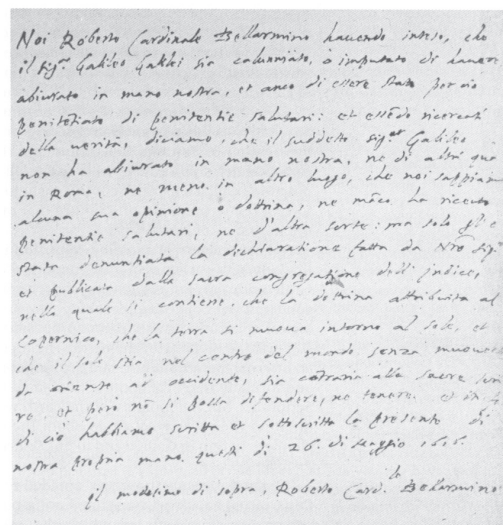
Assim, em 1624 Galileo começou o seu grande livro, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (“Diálogo sobre os dois principais sistemas de mundos”), que originalmente seria chamado de “Diálogo sobre o fluxo e refluxo das marés”. O trabalho recebeu o novo nome por exigência dos censores uma vez que era bem conhecida a insistência de Galileo de que a sua teoria das marés fornecia uma prova conclusiva da teoria heliocêntrica.

O “Diálogo” foi terminado em 1630 e depois de muito atraso, causado por pressões exercidas pelos inimigos de Galileo, foi relutantemente dado a ele o “imprimatur” da igreja.

O livro, escrito em italiano, foi publicado em Florença em fevereiro de 1632. Seu nome era

Dialogo di Galileo Galilei Linceo

Este é o frontispício do “Diálogos Relativos ao Sistema de Dois Mundos” de Galileo, publicado em 1632, que fez ele ser levado perante a Inquisição uma vez que ele tinha sido avisado em 1616 a não ensinar a teoria de Copernicus. De acordo com as indicações, Copernicus está a direita com Aristóteles e Ptolomeus está à esquerda. Entretanto, Copernicus foi desenhado com o rosto de Galileo.



Declaração do cardeal Bellarmino.



Frontispício do “Diálogos Relativos ao Sistema de Dois Mundos” de Galileu.

Embora Galileu use de subterfúgios no capítulo final de seu livro, como era de se esperar, o peso dos argumentos apresentados por ele torna a conclusão científica indiscutível: Copernicus estava certo.

Ocorre que as ideias de Galileu estavam em contradição direta com a visão do mundo ensinada pela igreja católica.

O papa Urbano ficou furioso após ser convencido por seus auxiliares de que Galileu não somente advogava a teoria de Copernicus contra a de Ptolomeus, mas também o tinha enganado ao não informá-lo da existência de uma proibição supostamente enviada a ele pelo Comissariado Geral em 1616.

Além disso, tudo indica que o papa pode ter sido persuadido por adversários de Galileu de que um dos personagens do “Diálogo”, chamado Simplicio e que era apresentado como um ambulante ligeiramente estúpido, havia sido modelado na personalidade do próprio papa.

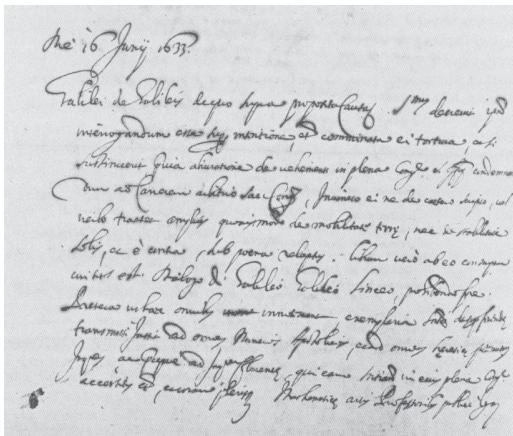
Com o livro amplamente aclamado como uma obra prima, e a autoridade de Roma enfraquecida, o papa Urbano VIII reagiu com truculência. Quase imediatamente o livro foi condenado e, em outubro, foi dada a ordem de parar a sua venda e recolher todas as cópias. O Papa ordenou que a Inquisição investigasse Galileu como herege. A imagem ao lado é uma pintura que mostra Galileu perante a Inquisição.

Em 1633 Galileu foi formalmente interrogado durante 18 dias e no dia 30 de abril confessou que sua defesa das teses Copernicanas no livro “Dialogo” tinham sido fortes demais e se ofereceu para refutá-las no seu próximo livro. Mesmo assim, o Papa decidiu que ele deveria ser julgado. Ao lhe serem mostrados os instrumentos de tortura Galileu se retratou. Em uma cerimônia formal da igreja de Santa Maria Sofia Minerva Galileu se arrependeu de seus erros. A Inquisição o condenou, em 1633, à prisão perpétua por ter mantido a heresia Copernicana. Isto tomou a forma de prisão domiciliar em sua casa em Sienna, próxima a Florença onde ele passou os anos restantes de sua vida.

O Livro dos Decretos da Congregação da Inquisição registra o sentenciamento de Galileu em 1633.

16 JUNHO 1633

Galileu Galilei, pelas razões acima, como decretado por sua Santidade, deve ser interrogado no que diz respeito à acusação, mesmo ameaçado com tortura, e se ele o mantém, proceder a uma abjuração do veemente [suspeito de heresia] ante a completa Congregação do Santo Ofício, sentenciado a aprisionamento ao prazer da Santa Congregação, ordenado, tanto na escrita ou falando, a não tratar mais de qualquer maneira da mobilidade da Terra ou a estabilidade do Sol; ou caso contrário ele sofrerá a punição de reincidência. O livro realmente escrito por ele, cujo título é “Dialogo di Galileo Galilei Linceo”, deve ser proibido. Além disso, que estas coisas possam ser conhecidas por todos, ele ordenou que cópias da sentença precedente devam ser enviadas a todos os Núncios Apostólicos, a todos os inquisidores contra a depravação herética, e especialmente ao



Sentenciamento de Galileu.

Inquisidor de Florença que deve publicamente ler a sentença para toda a sua congregação e mesmo na presença de tantos quanto aqueles que ensinam matemática e que ele possa reunir.

A abjuração de Galileo aparece na Livro dos Decretos logo em seguida ao seu sentenciamento.

“Eu não mantenho e não mantive esta opinião de Copernicus desde que a ordem foi notificada a mim de que eu devo abandoná-la; no que resta, eu estou aqui em suas mãos - façam comigo o que desejarem.”

Sendo mais uma vez ordenado falar a verdade, caso contrário auxílio seria obtido pela tortura:

“Eu estou aqui para submeter-me, e eu não tenho mantido esta opinião desde que a decisão foi pronunciada, como eu declarei.”

E uma vez que nada mais poderia ser feito na execução do decreto, sua assinatura foi obtida, e ele foi enviado de volta ao seu lugar.

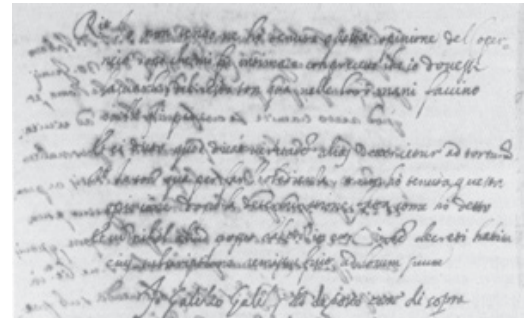
“Eu, Galileo Galilei, declaro solenemente como acima.”

Galileo realizou várias experiências revolucionárias na mecânica e em outros campos da física. Entre as suas realizações na mecânica estão:

- desenvolvimento do conceito de inércia, mais tarde refinado por Newton.
- descobriu, entre outras coisas, que os objetos não caíam em taxas diferentes como Aristóteles tinha acreditado. Várias experiências realizadas com corpos em queda livre demonstraram que a “aceleração da gravidade” é independente da massa. No entanto, não há qualquer evidência histórica de que Galileo tenha, realmente, lançado objetos do alto da torre de Pisa. Ao contrário, tudo indica que suas experiências foram conduzidas com um plano inclinado.
- também deve-se a Galileo a primeira teoria da relatividade, válida para velocidades muito menores do que a velocidade da luz. As transformações nesta teoria são conhecidas como “transformações galileanas” e relacionam as coordenadas espaciais e temporais de dois referenciais que possuem uma velocidade relativa constante.

Em 1638 Galileo ficou totalmente cego e o resto de sua vida foi gasto com estudantes, incluindo Vincenzo Viviani e Evangelista Torricelli, e seu filho Vincenzo além de uma ampla correspondência científica.

A Inquisição impediu Galileo de publicar, no entanto ele continuava a escrever. Seus assistentes salvaram dos censores seu último trabalho, o *Discorsi*, a culminação das pesquisas de uma vida sobre as leis da mecânica. Publicado em Leiden em 1638 ele se tornou a pedra fundamental sobre a qual as ciências da física, astronomia e cosmologia iriam se erguer.



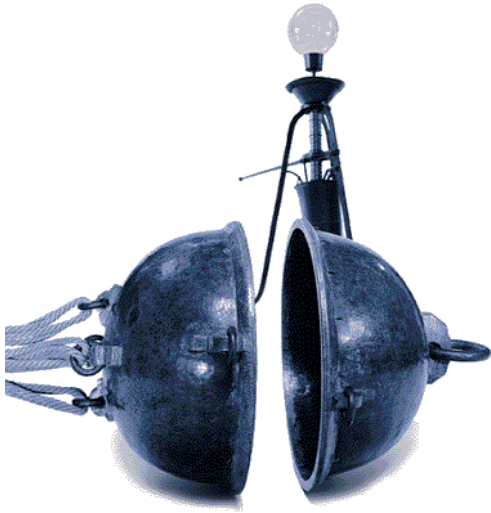
Libro dos Decretos.



Arcetri , próximo a Florença.

06

Grandes Descobertas



Bomba de ar inventada por Otto von Guericke.



Imagens sobre a experiência de Otto von Guericke.

Galileo morreu em Arcetri (imagem anterior), próximo a Florença, no dia 9 de janeiro de 1642, e está enterrado na Igreja de Santa Croce, em Roma, próximo à tumba de Michelangelo.

Há uma excelente página (em inglês) sobre a vida e a época de Galileo no site *The Galileo Project* da Rice University.

GRANDES DESCOBERTAS

Três importantes descobertas experimentais abriram caminho para a melhor compreensão do Universo. E todas elas ocorreram no século XVII. A medição da distância Terra-Sol nos mostrou que, mesmo em termos de Sistema Solar, as distâncias envolvidas eram gigantescas.

A medição da velocidade da luz nos apresentou um dado físico de extrema importância uma vez que, se a velocidade da luz é finita, ela leva um certo tempo para vir das estrelas até nós. Isso nos permitiu entender que o que víamos no céu era o passado do nosso Universo.

A descoberta de que o vácuo era possível revelou a todos os cientistas que o espaço entre as estrelas podia ser considerado como vácuo, sem a necessidade de existir qualquer meio semelhante ao “éter”. O entendimento do que é o vácuo será mudado no futuro, permitindo que as teorias de campo possam justificar diversos fenômenos da maior importância que ocorrem no interior da matéria.

OTTO VON GERICKE E O VÁCUO

No século XVII a possibilidade da existência de um espaço vazio, o vácuo, sem qualquer quantidade de matéria no seu interior, não era aceita por muitos filósofos naturais. Existe realmente tal coisa como o vácuo? Se existe, quais são as suas propriedades?

Os filósofos da antiguidade estavam envolvidos neste debate. Ocorre que a existência de um espaço vazio, que caracterizava a existência de um *vácuo*, era recusada por muitos filósofos com bases na religião: se Deus é onipresente, a existência de uma região do espaço sem nada era contrária à doutrina religiosa da época. A maioria dos homens letrados da época estava convencida de que “a Natureza abomina o vácuo”.

Em 1656 o físico Otto von Guericke obteve a primeira prova experimental da existência do vácuo. Com uma bomba de ar modificada que ele mesmo havia inventado, Guericke tirou o ar de dois hemisférios de metal que tinham sido postos em união somente com graxa. A seguir ele atrelou um grupo de oito cavalos a cada um dos hemisférios e fez com que eles tentassem separar o conjunto. Apesar de todo o esforço, os cavalos foram incapazes de separá-los. O que impedia a separação era a pressão exercida pelo ar sobre a superfície externa dos hemisférios. Esta experiência foi feita na cidade alemã de Magdeburg e os hemisférios passaram a ser conhecidos como “hemisférios de Magdeburg”.

Em 1663 von Guericke repetiu sua espetacular experiência com os “hemisférios de Magdeburg” para autoridades de Brandenburg em Berlin. Para espanto dos presentes, 24 cavalos foram incapazes de separar as esferas.

Guericke estudou astronomia e era um convicto Copernicano. Ele se preocupava com a natureza do espaço, com a possibilidade da existência do espaço vazio.

Guericke construiu um modelo físico do universo, englobando as ideias de Copernicus. Sua teoria baseava-se no espaço vazio através do qual a ação magnética controlava os movimentos dos planetas. Cada corpo celeste tinha sua própria esfera finita de atividade.

MEDINDO A DISTÂNCIA AO SOL

Giovanni Domenico Cassini, diretor do Observatório Real de Paris, enviou um de seus colegas astrônomos para a Guiana Francesa, uma difícil viagem de mais de 9654 quilômetros. Em um instante combinado a posição de Marte no céu deveria ser registrada tanto pelo observador na Guiana como por ele em Paris.

Quando Cassini recebeu em Paris os dados que haviam sido obtidos na Guiana ele pode compará-los e calcular a distância de Marte à Terra. Isso foi possível usando geometria, baseado no efeito da paralaxe. A paralaxe é o efeito que faz com que um determinado objeto pareça ter duas posições diferentes quando o observamos com apenas um dos olhos de cada vez, sem variar a posição entre nós e o objeto.

Tendo obtido sua primeira distância astronômica, Cassini foi capaz de aplicá-la a cada um dos outros planetas utilizando o trabalho que Kepler havia desenvolvido sobre as órbitas elípticas dos planetas.

No entanto, sua grande procura era pela distância entre a Terra e o Sol, uma medição crucial que hoje é conhecida pelos cientistas como **unidade astronômica**. A unidade astronômica é definida como a distância média entre a Terra e o Sol. Sua abreviação é U.A. (sempre em letras maiúsculas).

O valor obtido por Cassini para a unidade astronômica, em 1672, estava surpreendentemente próximo ao que conhecemos hoje. Ele obteve que a distância Terra-Sol é de quase 140 milhões de quilômetros. O erro existente entre este valor, medido em 1672, e aquele aceito hoje como verdadeiro, 149597870,691 quilômetros, é de apenas 7%.

Em geral consideramos que a unidade astronômica tem o valor aproximado de 150 milhões de quilômetros.

MEDINDO A VELOCIDADE DA LUZ

O astrônomo dinamarquês Ole Roemer trabalhava com Cassini em Paris compilando as tabelas dos satélites de Júpiter obtidas por Galileo. Foi então que ele notou que os eclipses desses satélites, que ocorrem quando eles passam ou dentro da sombra de Júpiter ou por trás do planeta, ocorrem em intervalos irregulares. Os eclipses ocorrem mais tarde do que o esperado quando Júpiter está se afastando da Terra e ocorrem mais cedo quando Júpiter está se aproximando. A diferença no tempo se relaciona exatamente com essa variação na distância.

Roemer concluiu que os raios refletidos por cada satélite devem levar um tempo finito para nos alcançar, o que implica que a luz se desloca a uma velocidade fixa.

Um trabalho recém feito por Cassini em Paris tinha revelado, com considerável precisão, a distância de cada planeta à Terra. Os valores da distância dos satélites de Júpiter, comparados com as variações observadas nos instantes dos eclipses, permitiram a Roemer calcular a velocidade da luz.

Em 1676 Roemer apresentou à recentemente fundada Academia de Ciências da França um artigo chamado *Démonstration touchant le mouvement de la lumière* (“Demonstração que diz respeito ao movimento da luz”). Nesse trabalho ele obtém o valor de 225260 quilômetros por segundo para a velocidade da luz. Isto é cerca de 25% menor pois o valor estabelecido hoje é de quase 300000 quilômetros por segundo. No entanto, a obtenção desse valor nos impressiona tendo em vista que esta foi uma primeira tentativa feita com instrumentos bastante imprecisos.



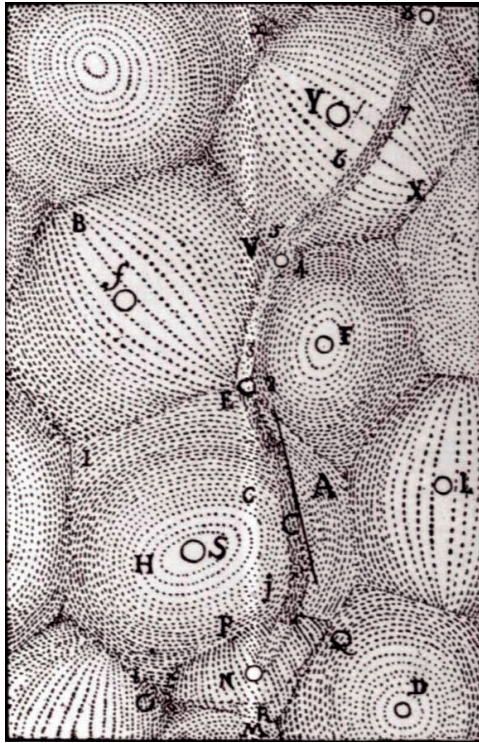
Giovanni Domenico Cassini.



Ole Roemer.

07

O universo mecânico: René Descartes



O UNIVERSO MECÂNICO: RENÉ DESCARTES

A ciência desenvolvida por Galileu lançou as bases para uma nova concepção da natureza que iria ser amplamente aceita e desenvolvida. Esta descrição da natureza ficou sendo conhecida como “mecanicismo”.

Os mecanicistas viam a natureza como um mecanismo cujo funcionamento era regido por leis precisas e matemáticas. Para eles o mundo era formado de peças ligadas entre si e o seu funcionamento regular nos permitia descrevê-las usando as leis da mecânica. Com esse argumento eles negavam a necessidade de se apelar a um Deus para conhecer o que estava acontecendo (mas não a existência do próprio Deus). Segundo os mecanicistas, um ser inteligente pode conhecer o funcionamento de uma máquina tão bem como o seu próprio inventor sem ter que consultá-lo a esse respeito.

Um dos grandes defensores do mecanicismo foi o filósofo francês René Descartes (1596-1656). Ele propôs um modelo não matemático para o universo sugerindo que ele consistia de enormes rodamoinhos de matéria cósmica. A esses rodamoinhos ele deu o nome de “vórtices”. Nosso Sistema Solar seria apenas um dos inúmeros rodamoinhos que formavam o universo.

Descartes banuiu da investigação científica os chamados “fenômenos ocultos” ou quaisquer princípios que não podiam ser percebidos pelos sentidos. Para ele a matéria celestial que circulava em torno da Terra empurrava toda a matéria terrestre na direção da própria Terra.

Os seguidores de Descartes (quando a teoria de Newton foi publicada, em 1687, Descartes já havia morrido). Na teoria Newtoniana, como veremos, os movimentos das estrelas e dos planetas eram tratados como problemas de mecânica, governados pelas mesmas leis que governam os movimentos que ocorrem na Terra. Newton também descreveu a força da gravidade matematicamente.) não acreditavam na teoria de Newton que propunha uma misteriosa força gravitacional agindo a distância.

A cosmologia mecanicista de Descartes era altamente aceitável dentro da concepção geral existente no século XVII do mundo como uma máquina. Entretanto suas explicações eram apenas redescrições qualitativas de fenômenos em termos mecânicos. Durante o século XVIII a teoria do “vórtice” de Descartes mostrou ser incapaz de calcular os movimentos planetários que eram observados. Enquanto isso, a teoria Newtoniana rival avançava de um sucesso quantitativo preciso para outro.

René Descartes (1596 - 1656).



ISAAC NEWTON E A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Isaac Newton nasceu na cidade inglesa de Woolsthorp, Lincolnshire, no dia 25 de dezembro de 1642, exatamente 11 meses após a morte de Galileo. Ele faleceu em Londres no dia 20 de março de 1727.

Em janeiro de 1665, após receber o título de bacharel, Newton teve que retornar à sua cidade natal, onde ficou durante dois anos, devido à peste que assolava Londres. Foi neste período em que ele desenvolveu suas mais importantes ideias científicas.

Nestes dois anos Newton desenvolveu a ciência da mecânica como nós a conhecemos, estabelecendo as leis do movimento dos corpos.

Newton também dedicou-se à óptica nesta época, iniciando suas primeiras experiências com prismas.

Para poder realizar cálculos mecânicos e compreender a Gravitação, Newton inventou uma ferramenta matemática que ele chamou de “fluxions”, e que agora é conhecida como “cálculo”. O cálculo diferencial também foi descoberto nesta mesma época, independentemente, pelo filósofo e matemático alemão Gottfried-Wilhelm Leibnitz.

Newton é considerado hoje o maior de todos os físicos clássicos.

As leis de Newton

Em 1684 o astrônomo Edmund Halley visitou Newton em Cambridge. Ouvindo suas ideias sobre o movimento dos corpos celestes ele estimulou Newton a desenvolvê-las sob a forma de um livro. Halley certamente queria usar estas teorias para analisar órbitas, particularmente aquela do cometa de 1682, que agora tem o seu nome, cometa Halley.

Impelido por Edmund Halley, Newton publicou, em 1687, as suas leis do movimento e a análise da gravidade sob a forma de um livro que, possivelmente, é o mais importante texto de física escrito até hoje.

O livro de Isaac Newton tinha o título *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ou simplesmente *Principia Mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”).

Halley estava tão decidido a ver as ideias de Newton sob a forma impressa que, ao notar que a falta de fundos na Royal Society provavelmente retardaria o projeto, decidiu pagar o custo inteiro da primeira impressão deste importante livro.

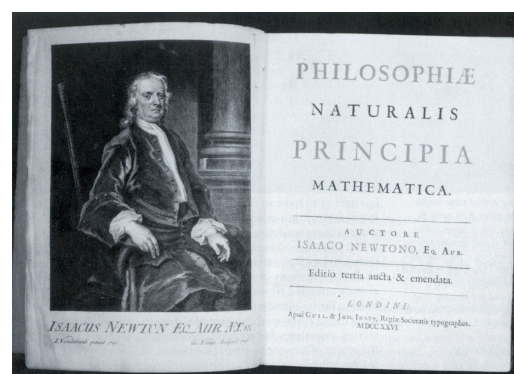
A página título e o frontispício que aparecem na imagem acima são da terceira edição do *Principia Mathematica* de Isaac Newton, publicada em 1726. A primeira edição apareceu em 1687.

Newton formulou três importantes leis:

- um objeto permanece em repouso ou em movimento uniforme em uma linha reta a menos que atue sobre ele alguma força.
- quando uma força age sobre um corpo ele muda seu movimento em uma quantidade proporcional à força que age sobre ele, e de acordo com a direção da força.
- quando um objeto exerce uma força sobre um segundo objeto, o segundo objeto exerce uma força igual e oposta sobre o primeiro.
- Entre as suas várias realizações científicas podemos citar:
- seu trabalho intitulado “Principia” onde ele formulou as leis do movimento que são os fundamentos da mecânica. Com base nestas leis Newton conseguiu explicar porque os planetas obedecem às leis de Kepler. O “Principia” é, provavelmente, o mais importante trabalho científico escrito até hoje.

08

Isaac Newton e a Gravitação Universal



Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.

- Newton expressou a lei universal da gravitação em forma matemática, mostrando que a força da gravidade cai inversamente com o quadrado da distância entre dois corpos.
- Newton mostrou que a gravidade não somente faz uma maçã cair ao chão mas também governa os movimentos dos planetas e seus satélites. A teoria da gravitação de Newton deve se aplicar a quaisquer corpos até mesmo, por exemplo, a estrelas binárias.
- Newton mostrou que a lei da gravitação poderia explicar tanto as marés sobre a Terra como a precessão dos equinócios.

Isaac Newton e a Gravitação Universal

O “Principia”, um dos mais influentes livros na história da ciência, teve sua origem nas especulações do jovem Newton sobre a trajetória da Lua durante sua estadia em Woolsthorpe Manor duas décadas antes (a história de que Newton teria notado a existência da lei da gravitação a partir da queda de uma maçã é, quase certamente, duvidosa).

A pergunta que estimulou seus pensamentos era: o que impede a Lua de sair de sua órbita em torno da Terra exatamente como acontece ao cortarmos a corda que prende uma bola que está sendo girada?

A bola em tal situação abandona sua trajetória circular e desloca-se em uma tangente a essa órbita.

Vamos ver isso de uma outra maneira. Suponha que temos um canhão imaginário, muito poderoso, sobre a superfície da Terra. Vamos colocá-lo no topo de uma montanha bastante alta e dispará-lo sempre horizontalmente. Após um pequeno percurso a bala do canhão cairá sobre a superfície da Terra. Suponha agora que aumentamos bastante a capacidade do nosso projétil e o disparamos de novo nas mesmas condições anteriores. Agora, com mais velocidade, ela percorrerá uma trajetória maior, mas voltará a cair sobre a superfície.

Seguindo esse raciocínio podemos imaginar que à medida que aumentamos a velocidade do nosso projétil, ele se deslocará por distâncias cada vez maiores antes de retornar à superfície da Terra. É fácil concluir que se o canhão projetasse sua bala com exatamente uma determinada velocidade, ela se deslocaria em volta de todo o nosso planeta, sempre “caindo” mas nunca alcançando a superfície da Terra. Podemos dizer que a superfície da Terra se curva com a mesma taxa que a bala do canhão “cai”.

Essa analogia agora pode ser aplicada à Lua em seu movimento em torno da Terra. Newton raciocinou que a Lua pode ser vista como perpetuamente caindo da tangente que ela descreveria em sua contínua órbita em torno da Terra se não fosse atraída pelo nosso planeta.

Newton calculou matematicamente por quanto, em tal analogia, a Lua estaria caindo a cada segundo. Com esses valores ele calculou, com base no mesmo princípio, a velocidade provável de um corpo que cai de modo usual nas nossas próprias vizinhanças. Em suas próprias palavras, a teoria e a realidade estavam “consideravelmente próximas”.

Mas, quem faz a Lua “cair” na direção da Terra? Newton nos disse que a Lua “cai” continuamente em sua trajetória em torno da Terra por que existe uma força gravitacional que a atrai na direção do centro do nosso planeta. A Lua sofre uma aceleração gerada pela gravidade da Terra e o conjunto desses fatores produz, no fim das contas, sua órbita.

Seguindo esse raciocínio Newton chegou à conclusão que dois objetos quaisquer no Universo exercem uma mútua atração gravitacional, gerada por



Isaac Newton.

uma força que tem uma forma matemática universal.

A palavra **gravidade** já estava em uso nessa época, significando a qualidade de “peso” que faz um objeto cair. Newton demonstrou sua existência agora como uma lei universal:

“Duas partículas quaisquer de matéria atraem uma a outra com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.”

Com esta observação Newton introduziu o grande princípio unificador da física clássica, capaz de explicar em uma lei matemática o movimento dos planetas, o movimento das marés e a queda de uma maçã.

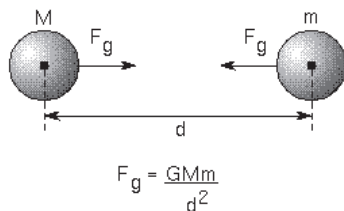
Veja que a lei descrita acima nos fala de proporcionalidades. Em matemática quando queremos passar de uma proporcionalidade para uma igualdade introduzimos uma “constante de proporcionalidade”. Esta constante de proporcionalidade terá um determinado valor numérico além de unidades físicas.

Deste modo, podemos escrever a lei da gravitação universal como uma igualdade se introduzirmos uma constante de proporcionalidade, que chamaremos de **constante universal da gravitação** e que será sempre representada pela letra **G**.

A Lei da Gravitação Universal pode ser escrita matematicamente como:

$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

onde **G** é a “constante universal da gravitação” (ou apenas constante gravitacional), **M** e **m** são as massas dos corpos que estão interagindo gravitacionalmente, e **d** é a distância entre estes mesmos corpos.



A constante universal da gravitação tem o valor

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ dinas centímetro}^2/\text{grama}^2$$

ou

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ newtons metro}^2/\text{quilograma}$$

Na igualdade acima “dina” e “newton” são unidades de medida de forças. “Dina” corresponde a gramas.centímetro/segundo² e “newton” equivale a quilograma.metro/segundo².

Por que chamamos **G** de constante *universal* da gravitação? Isso se deve ao fato de que a física considera que o seu valor é, e sempre foi, o mesmo em todos os lugares do universo ao longo de toda a sua existência. Isso nos diz que a física considera que a interação gravitacional possui uma característica universal: ela possui a mesma forma matemática em todos os locais do universo.

Na física de hoje é mais comum usar o termo “interação” em vez de “força” quando falamos dos processos fundamentais que ocorrem na natureza. Deste



modo, passaremos a usar o termo “interação gravitacional” (em vez de “força gravitacional”) ao nos referirmos aos processos de interação que ocorrem entre dois corpos com massa envolvendo a gravidade.

A interação gravitacional possui algumas características importantes que devem ser realçadas:

- a gravidade é a mais fraca entre todas as interações fundamentais (mais tarde veremos que existem outras três interações fundamentais na natureza, a forte, a fraca e a eletromagnética. Veremos também que estas três interações na verdade se reduzem a apenas duas, a eletrofraca e a forte).
- a gravidade é uma interação de longo alcance. Veja, na equação acima, que não há qualquer limite para o valor de d , que é a distância entre os corpos.
- a gravidade é uma interação somente **atrativa**. Não existe repulsão gravitacional na física newtoniana.
- quando consideramos dois corpos celestes, a distância entre eles se refere não às suas superfícies mas sim aos seus centros. Por exemplo, se estivermos aplicando a lei da gravitação universal ao sistema Sol-Júpiter, a distância entre eles é aquela que vai do centro do Sol ao centro de Júpiter.

Por causa destas propriedades a gravidade domina várias áreas de estudo na astronomia. É a interação gravitacional quem determina as órbitas dos planetas, estrelas e galáxias, assim como os ciclos de vida das estrelas e a evolução do próprio Universo.

A CONSTANTE GRAVITACIONAL DA EQUAÇÃO DE NEWTON

A gravidade é uma interação tão fraca que não era possível medir o valor da constante G que aparece na equação da gravitação de Newton na época em que ela foi proposta.

O primeiro a estimar o valor de G foi o astrônomo Nevil Maskelyne. Para fazer isto ele procurou usar duas massas bastante diferentes de tal modo que a interação gravitacional entre elas pudesse ser medida. Nada melhor do que a massa de uma montanha e a de um pedaço de chumbo preso a uma linha. Certamente a atração gravitacional entre estas duas massas provocaria uma deflexão na linha que sustentava o chumbo.

Em 1774, Maskelyne aproximou o seu peso de chumbo das encostas inclinadas do Monte Schiehallion, na Escócia, e mediu a deflexão da linha ou seja, a ação gravitacional entre a montanha e o peso de chumbo. Como o monte Chiehallion tinha uma forma muito regular, Maskelyne foi capaz de estimar sua massa e, como ele conhecia a massa do peso de chumbo, foi possível então determinar o valor da constante gravitacional G .

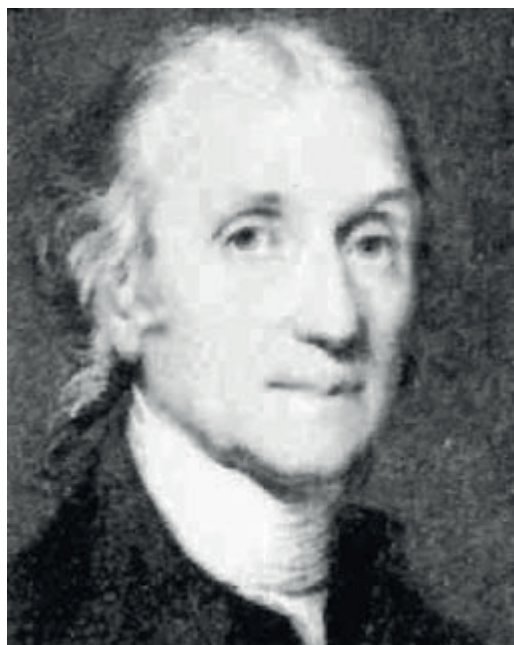
No entanto, o físico inglês Henry Cavendish foi o primeiro a medir G no laboratório.

A AÇÃO DA GRAVIDADE NAS NOSSAS VIDAS

E de que modo a ação da gravidade se apresenta na nossa vida? O simples fato de você permanecer de pé na superfície da Terra é resultado da existência da interação gravitacional. É a ação da gravidade da Terra que faz você permanecer sobre ela. É claro que você tem até uma pequena liberdade pois consegue saltar na vertical, mas logo é obrigado a retornar à sua superfície.



Nevil Maskelyne (1732 - 1811)



Henry Cavendish (1731 - 1810).

E que outras ações da gravidade nos afetam diretamente? A ação gravitacional entre a Terra e a Lua é uma dessas ações. É ela que produz o conhecido fenômeno das marés. Além disso, como a Lua é um satélite de grande massa, se comparado com os outros satélites do Sistema Solar, a atração gravitacional entre ela e a Terra serve como elemento estabilizador da rotação do nosso planeta em torno do seu eixo. No entanto, a Lua está se afastando da Terra e a mudança desta ação gravitacional, daqui a milhares de anos, provocará uma alteração no eixo de rotação da Terra. Esta mudança se refletirá sob a forma de fortes alterações climáticas no nosso planeta.

MASSA, PESO E A INTERAÇÃO GRAVITACIONAL

A expressão da Lei da Gravitação Universal proposta por Newton envolve uma grandeza física fundamental: a massa. Mas, afinal, o que é massa?

Na linguagem popular massa e peso têm sido usados para significar a mesma coisa. Para a física essas duas grandezas estão relacionadas, porém são completamente diferentes.

Voltamos a lei da gravitação universal:

$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

Essa lei descreve a força de atração entre dois corpos de massas M e m , situados a uma distância d . No entanto, a segunda lei de Newton nos diz que, se a massa é mantida constante, força é igual à massa do corpo multiplicada pela sua aceleração.

Vamos então considerar o sistema Terra-corpo qualquer, onde M é a massa da Terra e m é a massa do corpo. Como o corpo está na superfície da Terra, a distância Terra-corpo é apenas o raio da Terra. Pela segunda lei de Newton $F = ma$, refere-se à aceleração sofrida pela massa que forma o corpo. Podemos então igualar as duas expressões acima, a lei da gravitação universal e a segunda lei de Newton, obtendo

$$F = \left(G \frac{Mm}{r^2} \right) = ma$$

Como os dois “ m ” se referem à massa do corpo, é fácil ver que

$$a = G \frac{M}{r^2}$$

Veja então que para calcularmos a aceleração produzida pela gravidade da Terra temos que obter o produto da constante universal da gravitação G pela massa da Terra M , e em seguida dividir este resultado pelo raio da Terra, r , elevado ao quadrado.

O cálculo acima é apenas aproximado. Por que? Pelo fato de estarmos supondo que a Terra é redonda (na verdade a forma da Terra é a de um esferóide oblatado!) e, portanto, o seu raio é sempre o mesmo. Também introduz erro o fato de estarmos desprezando o raio do objeto (no caso, o corpo!) em relação ao raio da Terra em toda essa discussão. Podemos ficar tranquilos porque os erros introduzidos são absurdamente pequenos para criar qualquer problema no resultado final do nosso problema.

Se agora substituirmos os valores numéricos nesta expressão ou seja, $G = 6,67 \times 10^{-11}$ newtons metro²/quilograma², massa da Terra = $5,99 \times 10^{24}$ kg, e raio (médio) da Terra = $6,367 \times 10^6$ metros, iremos obter

$$a = 9,80 \text{ m/seg}^2$$

Este é o valor da aceleração que o campo gravitacional da Terra exerce sobre um corpo qualquer.

Podemos generalizar a equação acima obtendo a expressão que nos dá a aceleração da gravidade criada por um corpo qualquer de massa M a uma distância d qualquer:

$$a = G \frac{M}{d^2}$$

A partir do conhecimento da aceleração da gravidade criada por um corpo qualquer de massa M , podemos determinar uma outra grandeza física importante relacionada com a massa ou seja, o peso do corpo. O peso de um corpo é definido como sendo o produto de sua massa pela aceleração da gravidade que atua sobre ele. Veja, portanto, que o peso de um corpo de massa m colocado na superfície da Terra é obtido multiplicando-se sua massa m pela aceleração que o campo gravitacional da Terra produz sobre a superfície do nosso planeta.

A expressão matemática do peso é dada por

$$P = Mg$$

onde g é a aceleração gravitacional que atua sobre o corpo de massa m .

É importante notar que, no âmbito da física clássica newtoniana, a grandeza massa é invariável. No entanto, a grandeza peso varia: ela depende do valor da aceleração da gravidade que está atuando sobre o corpo de massa m . Enquanto a massa de um corpo é a mesma estando ele na superfície da Terra ou em qualquer outro planeta, seu peso não é o mesmo, pois o campo gravitacional e daí a aceleração da gravidade, varia para cada planeta. Por exemplo, como a Lua possui um campo gravitacional aproximadamente seis vezes menor do que o da Terra, um corpo de massa m na Terra teria a mesma massa, mas um peso muito menor na Lua.

Poderíamos questionar: se, pela segunda lei de Newton, $F = ma$ (massa vezes aceleração) e se o peso de um corpo de massa m é dado por $P = mg$ (massa vezes aceleração) então força é o mesmo que peso. Na verdade, o peso é uma força sim, mas nem sempre a expressão da força dada pela segunda lei de Newton está nos informando qual o peso de um corpo. Isso se deve ao fato de que na segunda lei de Newton, a aceleração considerada é qualquer uma capaz de fazer variar a velocidade de um corpo, enquanto que na expressão do peso a aceleração considerada é sempre aquela produzida por um campo gravitacional.

Um outro ponto importante é que a massa m usada tanto na segunda lei de Newton como na sua lei da gravitação universal desempenha dois importantes papéis:

- na segunda lei de Newton, $F = ma$
a massa m é uma medida de quão fortemente um corpo é acelerado por uma dada força. Ela é uma medida da inércia de um corpo.
Quando está desempenhando este papel dizemos que m é uma **massa inercial**.

- na lei da gravitação universal, m é uma medida de quão fortemente um corpo é afetado pela força da gravidade e também quão forte é a força gravitacional gerada por m . Quando está desempenhando este papel dizemos que m é uma **massa gravitacional**.

Estas duas quantidades referem-se a propriedades diferentes de um corpo e não necessariamente deveriam ser iguais. No entanto, medições extremamente precisas indicam que elas *são iguais*.

A COSMOLOGIA DE ISAAC NEWTON

Newton viveu em uma época em que a religião estava presente em todas as parcelas da vida e, em particular, ainda vigiava os pensadores, embora sem ter mais o peso da Inquisição.

Nessa época muito se especulava sobre a idade do universo. A maioria dos pensadores procurava se apoiar na Bíblia para descobrir quando Deus fez o universo. Alguns pensadores cristãos daquela época acreditavam que o universo tinha apenas alguns milhares de anos de existência e que havia sido criado em apenas seis dias, praticamente nas mesmas condições então existentes. Deste ponto de vista a história do universo e a história do ser humano eram as mesmas.

Vários teólogos fizeram cálculos sobre a idade do universo baseando-se exclusivamente no estudo de passagens bíblicas. Uma das “conclusões” mais comentadas sobre a idade do Universo foi divulgada no início do século XVII por James Usher (1581-1656), arcebispo de Armagh, Irlanda. Após uma metódica análise da Bíblia, Usher chegou à conclusão que o universo foi criado no dia 23 de outubro 4004 a.C., um domingo. Suas conclusões foram, publicadas postumamente no seu livro “The Annals of the World iv” em 1658.

A onipresença de Deus impregnava o cosmos Newtoniano. Newton também calculou a idade do universo com base nos textos bíblicos e estava convencido de que suas descobertas demonstravam as maravilhas criadas por Deus. A presença divina agia como um “éter” imaterial que não oferecia resistência aos corpos mas poderia movê-los por meio da força da gravitação.

A teoria gravitacional Newtoniana exigia praticamente um milagre contínuo para evitar que o Sol e as estrelas “fixas” fossem puxadas umas em direção às outras. Newton imaginava um universo infinitamente grande no qual Deus tinha colocado as estrelas exatamente nas distâncias corretas umas em relação às outras de modo que a ação mútua de suas forças de atração gravitacional fossem canceladas, um equilíbrio tão preciso como o de agulhas equilibradas por suas pontas.

Uma outra possível solução era colocar as estrelas “fixas” tão afastadas umas das outras que elas não podiam ter atraído umas às outras de modo perceptível nos poucos milhares de anos que haviam decorrido desde a Criação Bíblica.

A antiga suposição de que as estrelas eram objetos “fixos” em posição, não foi questionada até o ano de 1718 quando o astrônomo inglês Edmond Halley fez uma notável descoberta. Ele verificou que três estrelas brilhantes não estavam mais nas posições determinadas pelas antigas observações. As estrelas estavam livres para se moverem como objetos físicos normais.

Vários filósofos criticaram duramente a visão Newtoniana do cosmos. Suas críticas eram mais incisivas tendo em vista o fato de que os movimentos dos planetas não eram perfeitos: suas órbitas sofriam perturbações criadas pelos campos gravitacionais dos outros corpos celestes. Segundo Newton, o projeto do Sistema Solar mostrava a inteligência e o poder de Deus o fato dos planetas permanecerem em suas órbitas, a despeito dessas perturbações, mostrava que havia uma contínua intervenção de Deus. Para muitos filósofos a simples ideia de uma intervenção ocasional divina no universo era um questionamento à



James Usher.



09

O desenvolvimento da teoria da Gravitação de Newton

perfeição de Deus. Aqueles que apoiavam as ideias de Newton argumentavam que não havia nada de errado ou ofensivo nessa ideia, pois essa intervenção era parte integrante do plano Divino para o universo.

A TEORIA DA GRAVITAÇÃO PROPOSTA POR NEWTON É MESMO UNIVERSAL?

Já vimos que a teoria clássica da gravitação é descrita pela **lei de Newton da Gravitação Universal**. O nome pode nos levar a crer que essa é uma teoria que vale “universalmente”: todos os corpos existentes no universo sentem interações gravitacionais que são dadas pela mesma expressão matemática descoberta por Isaac Newton.

No entanto, isso não é verdade. A teoria da gravitação de Newton é absolutamente satisfatória quando tratamos de processos de interação entre corpos macroscópicos em um universo local. O que queremos dizer é que, ao levarmos em conta a estrutura geométrica do universo ou seja, os fenômenos que resultam do fato da matéria criar uma curvatura no espaço-tempo, a teoria de Newton já não é mais satisfatória. Neste caso ela precisou ser substituída por uma outra teoria que levava em consideração esta geometria: a teoria relativística da gravitação apresentada por Albert Einstein.

A teoria da gravitação de Einstein, também chamada de Teoria da Relatividade Geral, descreve de que modo matéria e espaço-tempo interagem. Na verdade, a interação gravitacional seria melhor chamada de **Geometrodinâmica**, termo proposto pelo físico norte-americano John Wheeler, uma vez que a relatividade geral geometriza a gravitação.

No entanto, como veremos mais tarde, para descrever os estágios iniciais da formação do Universo nem mesmo a teoria relativística da gravitação é satisfatória. Precisamos agora de uma nova teoria, uma **teoria quântica da gravitação**.

Até agora os físicos ainda não possuem uma teoria como essa, apesar dos enormes esforços desenvolvidos para isto. Existe uma incompatibilidade, ainda não compreendida, entre a teoria relativística da gravitação e a teoria quântica.

As dificuldades para criar uma teoria quantizada para a gravitação têm sido muito grandes: a matemática envolvida é excepcionalmente sofisticada e os conceitos físicos estão na fronteira do nosso conhecimento e imaginação.

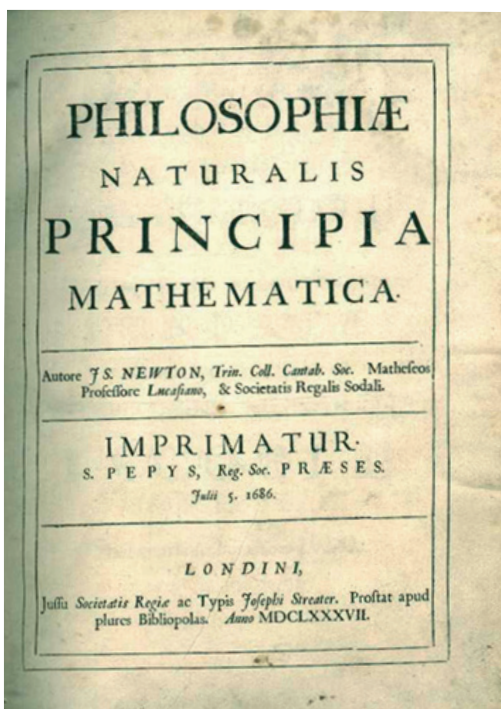
O DESENVOLVIMENTO DA TEORIA DA GRAVITAÇÃO DO NEWTON

Já vimos que toda a história da gravitação começou com as tentativas de compreender o movimento dos corpos. Esse problema já fazia parte do pensamento dos antigos filósofos gregos. Muitos deles se manifestaram sobre o assunto mas somente alguns marcaram a ciência com suas ideias. O filósofo grego **Aristóteles** (~ 300 a.C.) foi um deles. Ele acreditava que para que um corpo fosse mantido em movimento uniforme, era necessário que uma força constante fosse aplicada sobre ele. Além disso Aristóteles acreditava que forças só podiam ser aplicadas por meio do contato entre corpos. Para ele era inadmissível o conceito de força à distância.

Para Aristóteles a equação de movimento era:

$$\text{força} = \text{resistência} \times \text{movimento}$$

A partir disso Aristóteles concluiu que o vácuo não podia existir na natureza uma vez que no vácuo não haveria resistência e qualquer que fosse a força aplicada a um corpo ela sempre produziria velocidades infinitas.



As conclusões de Aristóteles estavam erradas mas como sua ciência foi considerada “oficial” por aqueles que regiam o mundo naquela época, suas ideias imperaram por quase 2000 anos, impedindo a compreensão correta dos fenômenos gravitacionais.

Os trabalhos de **Nicolau Copérnico** (1473-1543) sobre o Sistema Solar foram muito importantes por mostrarem o papel que a gravitação exercia nos corpos celestes. Em seguida **Johannes Kepler** (1571-1630) apresentou suas leis do movimento planetário e **Galileo Galilei** (1564-1642) nos fez compreender o movimento e a queda dos corpos.

Com base nesses conhecimentos, **Isaac Newton** apresentou em 1687 no seu famoso livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou simplesmente *Principia*, suas três leis do movimento e sua **Teoria da Gravitação Universal**.

Newton modificou a equação de movimento de Aristóteles, que dominou o cenário da física durante tanto tempo, propondo uma nova equação de movimento:

$$\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}$$

No seu *Principia* Newton estabeleceu axiomas capazes de descrever como os corpos interagem por meio da força gravitacional.

No entanto, a teoria da gravitação proposta por Newton era apenas o começo de uma longa história de pesquisas. Ainda faltava muito para que o trabalho apresentado por Newton pudesse ser realmente considerado uma “teoria completa”. E muitos pesquisadores, do mais alto nível, se dedicaram à tarefa de completá-la.

A forma analítica definitiva dos axiomas propostos por Isaac Newton foi elaborada pelo grande matemático alemão Leonhard **Euler**. Esses axiomas também foram trabalhados por três grandes nomes da ciência, o matemático italiano Giuseppe Lodovico Lagrangia (que ao se naturalizar francês adotou o nome Joseph-Louis **Lagrange**), o matemático irlandês William Rowan **Hamilton** e o matemático alemão Carl Gustav Jacob **Jacobi**.

Esses grandes cientistas transformaram os axiomas do movimento criados por Newton em métodos gerais e muito poderosos. Graças ao trabalho deles os físicos passaram a empregar novas quantidades analíticas em suas análises dos problemas de movimentos. Surgiu nessa época o conceito de *potencial*, grandeza física intimamente associada às forças, mas que não faz parte da nossa experiência diária.

Dizemos que uma força é *conservativa* se o trabalho realizado por ela sobre uma partícula que se move entre dois pontos depende somente desses dois pontos e não de qual o tipo ou tamanho da trajetória percorrida. Toda força conservativa aplicada a um corpo é igual ao negativo da variação da energia potencial desse corpo ao longo de um deslocamento.

Os importantíssimos trabalhos desses cientistas se condensaram nas chamadas **equações de Euler-Lagrange**, publicadas em 1788, e na **teoria de Hamilton-Jacobi**, poderosos instrumentos conhecidos por todos que estudam a mecânica clássica.

As equações de Euler-Lagrange são o meio mais econômico de escrevermos as equações de movimento de um corpo pois, além de envolverem o número mínimo de coordenadas, elas lidam apenas com duas funções escalares, energia cinética (T) e energia potencial (V), em vez das forças e acelerações vetoriais que caracterizam a abordagem feita anteriormente por Newton.

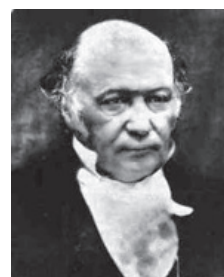
Como as equações de Euler-Lagrange podem ser deduzidas a partir da segunda lei de Newton, que só vale em referenciais inerciais, as funções T e V também têm que ser expressas em relação a um mesmo referencial inercial.



Leonhard Euler (1707-1783)



Joseph-Louis Lagrange (1736-1813)



William Rowan Hamilton (1805-1865)



Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851)



Alexis Claude Clairaut (1713-1765)



Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

10

O Determinismo e Pierre-Simon Laplace



As equações de Euler-Lagrange utilizam um termo dado por $L = T - V$. Esse L é a chamada *lagrangiana*. Todos os “campos” existentes na natureza são descritos por uma lagrangiana. É muito comum vermos os campos existentes na natureza, tais como o campo eletromagnético, o campo eletrofraco e até mesmo do campo gravitacional, serem representados por suas lagrangianas.

A teoria de Hamilton-Jacobi é um método que nos permite realizar um certo tipo de transformação, chamado *transformação canônica*, que é capaz de simplificar drasticamente as equações de movimento de um dado sistema.

Dois grandes físicos franceses, **Alexis Clairaut** e **Pierre-Simon Laplace**, publicaram vários trabalhos mostrando que a teoria da gravitação universal proposta por Isaac Newton estava correta.

Laplace se interessou pelo problema da estabilidade do Sistema Solar no seu *Traité du Mécanique Céleste* publicado em 1799. Na verdade o chamado “problema de três corpos” foi intensamente estudado no século XIX, mas só foi entendido muito mais tarde.

O DETERMINISMO E PIERRE-SIMON LAPLACE

Laplace (1749 - 1827) foi um importante matemático e filósofo francês que também deu contribuição à astronomia em sua obra *Mécanique Celeste*, dentre outras.

O Sistema Solar contém muitos corpos e o cálculo da órbita de qualquer planeta, ou satélite, não se limita ao cálculo de sua interação gravitacional com outro corpo mais próximo. Na física clássica isso é denominado “problemas de dois corpos”, cuja solução é simples. No entanto, outros corpos também podem produzir efeitos menores, mas não desprezíveis, sobre o corpo estudado. Tais efeitos são chamados “perturbações”. Por exemplo, o Sol perturba (altera) o movimento da Lua em torno da Terra. Júpiter e Saturno perturbam (modificam) os movimentos, um do outro, em torno do Sol. Assim, o “problema de dois corpos” passa a ser, no mínimo, um “problema de três corpos”. Generalizando, cada corpo celeste sofre influência de *todos* os demais existentes na sua vizinhança. Trata-se então de um “problema de n corpos”, onde n é o número de corpos que perturbam o corpo estudado. O problema de n corpos é extremamente difícil.

O desenvolvimento da matemática e sua aplicação ao movimento dos corpos celestes teve uma grande importância durante o século XVIII. Leonhard Euler, um matemático suíço, desenvolveu métodos para calcular os efeitos da perturbação. Primeiro aplicou o método à Lua e em seguida, a Júpiter e Saturno, com êxito parcial.

Ao longo do século XIX já havia confiança em relação à ciência. A física, em particular, teve importantes avanços, ajudando a compreender melhor o mundo. Nesse contexto surgiu uma linha de pensamento filosófico apresentada pelo francês August Comte (1798-1857) conhecida como “positivismo”. Ela considerava a ciência o auge do desenvolvimento do conhecimento humano. O pressuposto fundamental é que há uma regularidade no funcionamento da natureza, cabendo ao cientista descobrir as “leis naturais invariáveis” às quais todos os fenômenos da natureza estão submetidos.

Segundo os positivistas, qualquer fato observado é um resultado de causas que merecem investigação, porque as mesmas causas produzem sempre os mesmos efeitos, não havendo na natureza lugar para o imprevisível. O conceito de que as mesmas causas geram sempre os mesmos efeitos, passou a ser chamado determinismo. O determinismo teve inúmeros defensores, dentre os quais Laplace se destaca. Sobre o universo, Laplace escreveu em “Ensaio filosófico sobre as probabilidades”:



“Devemos considerar o estado presente do universo como um efeito do seu estado anterior e como causa daquele que se há de seguir. Uma inteligência que pudesse compreender todas as forças que animam a natureza e a situação dos seres que a compõem - uma inteligência capaz de submeter todos esses dados a uma análise - englobaria na mesma fórmula, desde os movimentos dos maiores corpos do universo ao menor átomo. Para ela, nada seria incerto, e o futuro, tal como o passado, seriam presente aos seus olhos”.

Apesar do sucesso parcial de Leonhard Euler, ainda permaneciam sem explicação as anomalias observadas nos movimentos de Júpiter e Saturno, assim como a aceleração sofrida pela Lua em seu movimento orbital em torno da Terra. Laplace resolveu estes problemas em 1785 e 1787, demonstrando que as interações gravitacionais existentes entre Júpiter e Saturno eram auto corrigidas.

Em seu livro, *Mécanique Céleste*, publicado em cinco volumes entre 1799 e 1805, Laplace propôs que todos os fenômenos físicos no universo poderiam ser reduzidos a um sistema de partículas que exercem forças de atração e de repulsão entre todas elas. Laplace não escreveu apenas para cientistas.

Em 1796 apresentou o livro *Exposition du Système du Monde*, onde resumia para o público leigo o conhecimento existente sobre astronomia e cosmologia no final do século XVIII. Neste livro antecipou a idéia que se tornou conhecida como “hipótese nebular”. Ele sugeriu que o Sistema Solar, assim como todas as estrelas, foi criado a partir do esfriamento e condensação de uma enorme “nebulosa” quente em rotação, ou seja, uma nuvem gasosa de partículas.

A “hipótese nebular” influenciou fortemente os cientistas no século XIX, fazendo-os procurar sua confirmação (ou recusa). Parte da “hipótese nebular” de Laplace permanece no centro da compreensão atual sobre a formação do sistema solar.

Os trabalhos de Laplace eram uma tentativa de substituir o poder divino por uma teoria puramente física que explicasse a ordem no universo. Isso consistia numa abordagem atéia da natureza, característica do chamado “período iluminista francês”. Conta-se que quando o imperador Napoleão perguntou a Laplace se ele deixou algum lugar para o criador em sua teoria, Laplace respondeu que não teve necessidade de tal hipótese.

