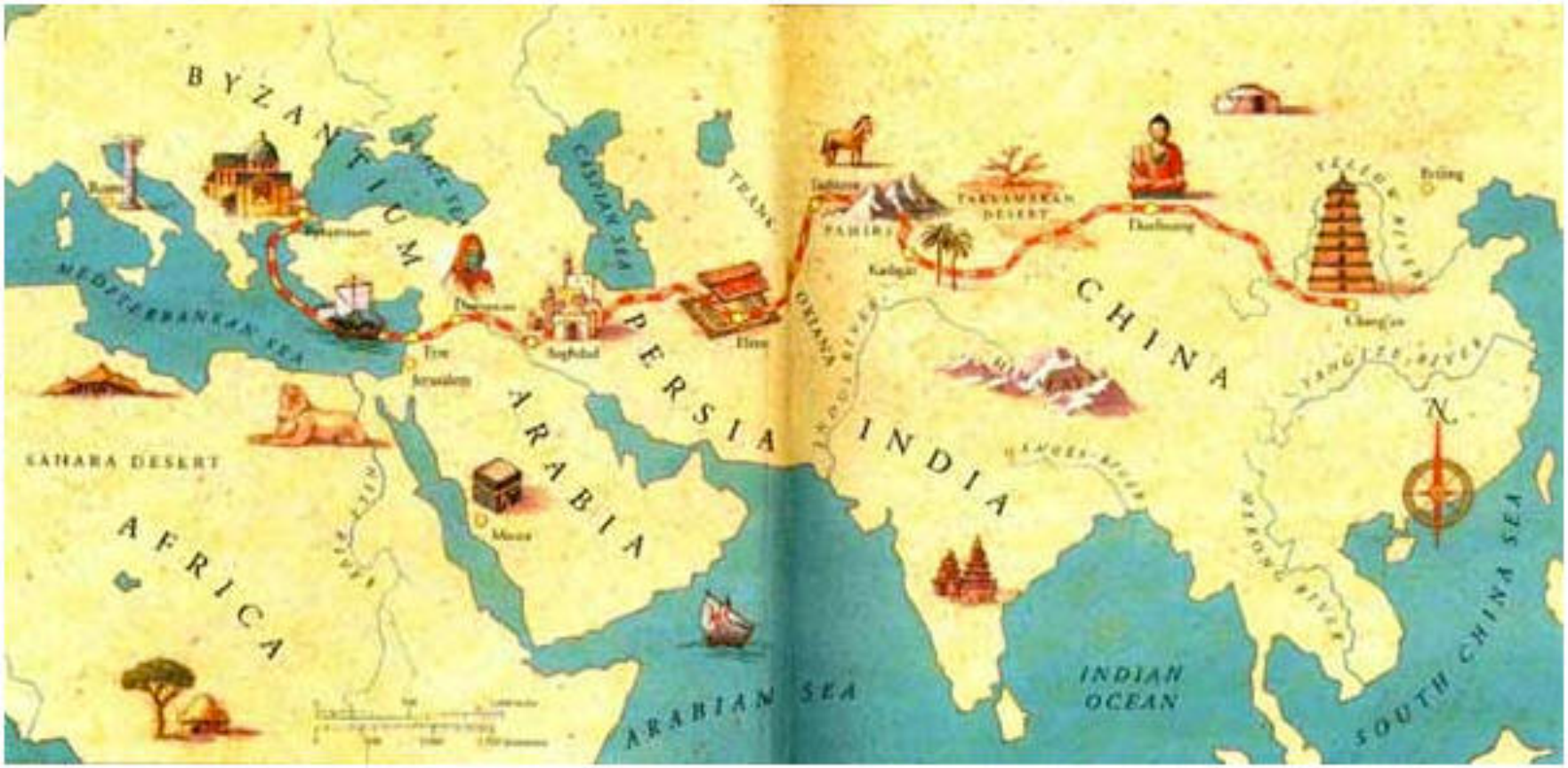
A Física na Antiguidade e Idade Média

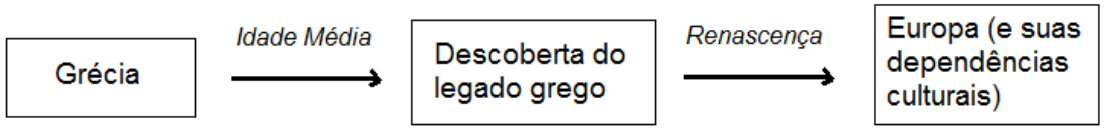
Antônio Roque
USP Ribeirão Preto

O Mundo da Antiguidade

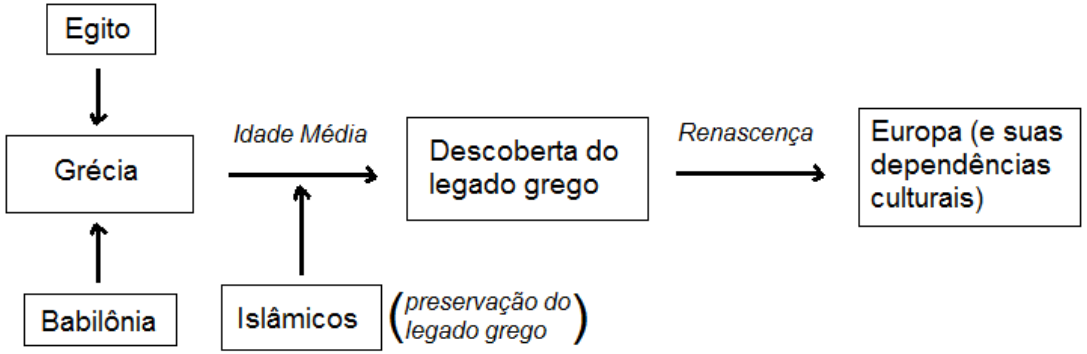


Visão eurocêntrica em ciência

- *A ciência é uma invenção europeia e suas origens estão na filosofia grega.*
- Modelo clássico da evolução da ciência (eurocêntrico):



- Modelo modificado da evolução da ciência (ainda eurocêntrico):



Grécia antiga

Etapas da Filosofia Grega

- Período pré-socrático (c. 630 a.C. a 450 a.C.).
- Período clássico:
  - Sócrates (c.469 a.C. a 399 a.C.)
  - Platão (427 a.C. a 347 a.C.).
  - Aristóteles (384 a.C. a 322 a.C.).
- Período Helenístico (c. 320 a.C. A c. 300 d.C.).

Escola de Mileto (Jônia, séc. VI a.C.)

Tales, Anaximandro e Anaxímenes

- Primeiros filósofos da Grécia antiga.
- Explicações baseadas em causas naturais e não em sobrenaturais.
- Todas as coisas têm uma origem (*arché*) ou princípio natural comum.
- Foram chamados por Aristóteles de *physikoi*, devido ao seu interesse pela *physis* (natureza).
- Nosso conhecimento sobre esses filósofos é muito precário. Todas as fontes disponíveis são fragmentos secundários escritos por comentadores posteriores (200 anos ou mais).

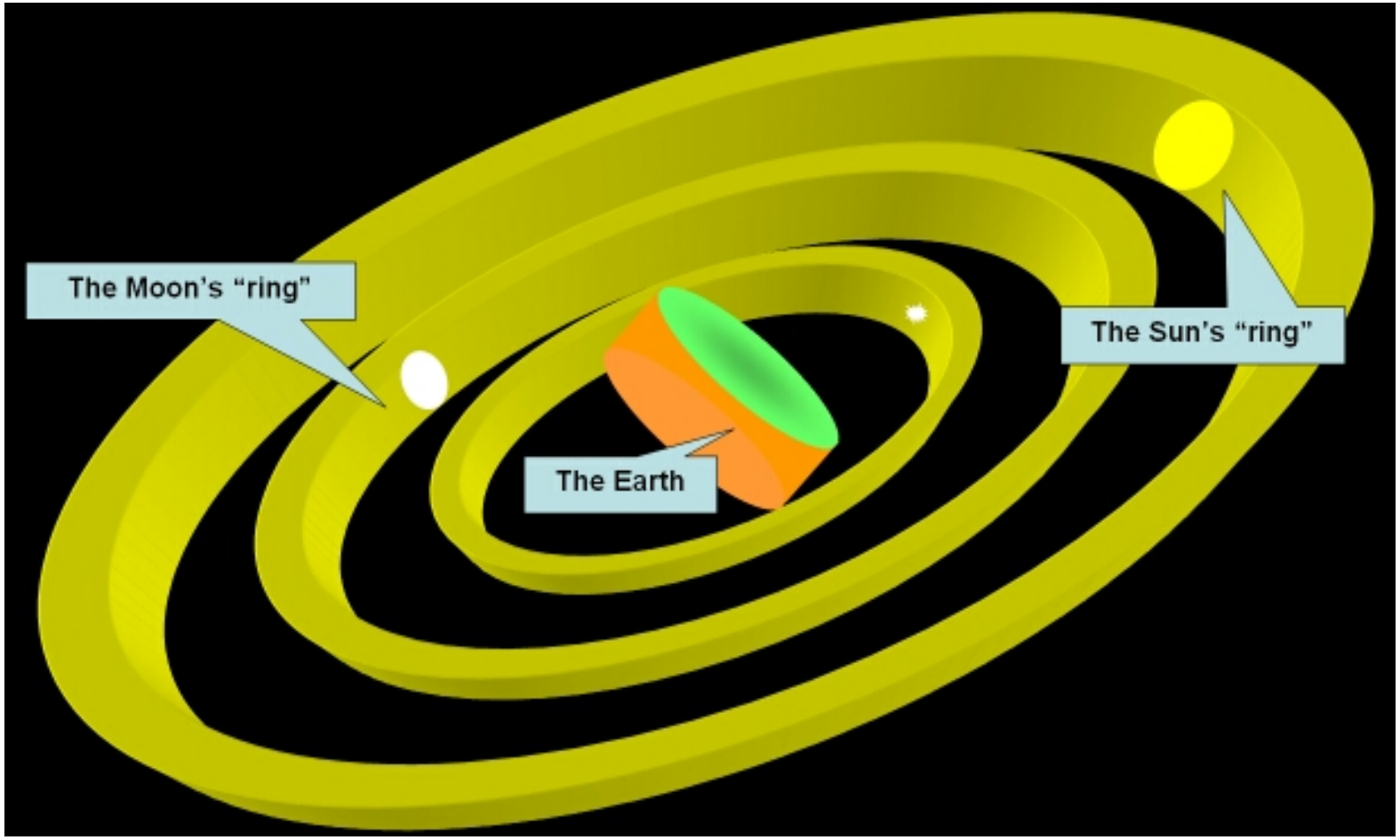
Tales de Mileto
(~624 a.C. a ~546 aC)

- Todas as coisas são feitas de apenas uma substância material.
- A água é a substância original e a Terra flutua sobre ela. Com isso ele explicou os terremotos.

Anaximandro de Mileto
(~610 a.C. a ~546 a.C.)

- Substância primordial: *ápeiron* (indefinido, ilimitado).

Modelo cosmológico de Anaximandro



Anaxímenes de Mileto (~585 a.C. a ~525 a.C.)

- A substância fundamental é o ar.
- As variadas coisas do mundo são produzidas por condensações e rarefações de ar.
- A alma é ar; o fogo, ar rarefeito; à medida que se condensa, o ar transforma-se primeiro em água, depois em terra e, finalmente, em pedra.

Heráclito de Éfeso (Jônia) (~535 a.C. a ~475 a.C.)

- O mundo é um fogo sempre vivo; partes desse fogo estão sempre sendo extintas para formar as duas outras principais massas do mundo, o mar e a terra. As mudanças entre o fogo, o mar e a terra equilibram-se mutuamente.
- Tudo é transitório e está em perpétua transformação. “Não se pode entrar duas vezes no mesmo rio”.

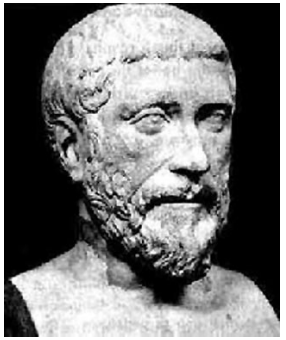
Leucipo de Mileto (~440 a.C.)
Demócrito de Abdera (~410a.C.)

- Origem do atomismo: O mundo consiste de átomos movendo-se no vazio infinito.
- Os átomos são corpúsculos sólidos, muito pequenos para serem vistos, e possuem uma infinidade de formas.
- A diversidade de substâncias e a complexidade dos fenômenos observados são explicadas pelas diferentes configurações transitórias dos átomos no vazio.

Empédocles de Ácragas (~490 a.C. a ~430 a.C.)

- Tudo é formado por quatro elementos imutáveis: fogo, ar, terra e água.
- As substâncias materiais, no entanto, não são suficientes para explicar os movimentos e as mudanças observadas.
- Há dois princípios não-materiais, que ele chamou de “amor” e “ódio”, para promover interações entre os quatro elementos e agregá-los ou separá-los.

Pitágoras de Samos (~570 a.C. a ~495 a.C.)

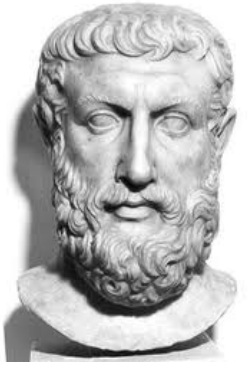


- A realidade última é numérica e não material.

O Problema da Mudança

- Pode-se aceitar que os ingredientes fundamentais do mundo são mutáveis? Em princípio, não, pois uma substância fundamental seria realmente fundamental se mudasse de forma ou viesse a ser ou deixasse de existir? Se este fosse o caso, então deveria haver algo mais fundamental ainda e, ao final, se acabaria por encontrar algo fixo e imutável.
- Se concordarmos que a essência última da realidade é imutável, seria possível descrever, ou mesmo aceitar, a realidade observada das mudanças no mundo?
- Como compatibilizar a estabilidade da realidade última com o fato genuíno que se observam mudanças e transformações em níveis menos fundamentais? Como pode o mundo ser, ao mesmo tempo, estável e mutável?

Parmênides de Eléia (~530 a.C. a ~460 a.C.)



- Toda mudança é logicamente impossível.
- Partiu da premissa de que “o ser é e o não-ser não é”. Daí se pode obter os atributos do ser:
- O ser não teve origem, pois para tal seria necessário haver algo que não é antes dele (o não-ser), o que é impossível.
- O ser é eterno, pois, pelo mesmo argumento, se ele deixasse de ser haveria o não-ser.
- O ser é infinito, pois se tivesse um fim espacial haveria o não-ser além de suas fronteiras.
- O ser é indivisível, portanto contínuo, pois se pudesse ser dividido haveria o não-ser entre suas partes.
- O ser é imóvel, pois para se mover precisaria ir para um espaço que não é.

- O argumento de Parmênides leva à conclusão de que só há uma coisa, una e permanentemente idêntica a si mesma, sem passado e sem futuro.
- Esse argumento, se aceito em todas as suas consequências, implica que as idéias de transitoriedade, mudança, pluralidade, e mesmo de tempo são ilógicas, devendo ser tidas como irreais e ilusórias.

Zenão de Eléia (~490 a.C. a ~430 a.C.)

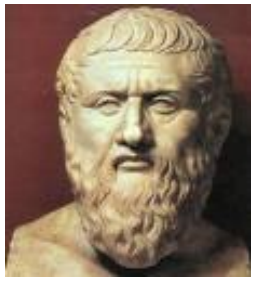
- Pupilo de Parmênides, Zenão defendeu a doutrina de seu mestre e a aplicou ao problema da mudança.
- Mostrou, com uma série de paradoxos, a impossibilidade lógica do movimento de um lugar para outro.
- Os mais famosos dos paradoxos de Zenão são o de Aquiles e a tartaruga e o da flecha.
- Para consulta: http://plato.stanford.edu/entries/paradox-zeno/

- Obviamente, tanto Parmênides quanto Zenão podiam observar inúmeros tipos de movimento à sua volta, inclusive o deles mesmos. Eles tinham perfeita consciência daquilo que a nossa *experiência sensorial* nos mostra.
- A questão para eles era outra: o que nos é mostrado pela experiência é confiável ou não? O que se pode fazer se a experiência nos sugere a realidade da mudança, mas a argumentação lógica nos ensina que ela é impossível?
- Para Parmênides e Zenão a resposta era clara: o processo racional deve prevalecer. Parmênides distinguia entre a "via da opinião" (ou da "aparência"), associada à observação, e a "via da verdade", associada à razão. Para ele, a primeira apenas nos revela aquilo que é ilusório, enquanto que a segunda nos revela aquilo que é real.

O Problema do Conhecimento (Epistemologia)

- Se os sentidos não nos revelam a unidade das coisas, então devemos encontrar outros guias para nos levar à verdade.
- A visão radical de Parmênides sobre o problema da mudança tem implicações epistemológicas claras: a verdade só pode ser alcançada pelo exercício da razão; se os sentidos nos revelam mudança, ela não é confiável.
- Os atomistas também denegriam a experiência sensorial: os sentidos nos revelam as qualidades "secundárias" – cores, sabores, odores, sons e qualidades táteis – enquanto que a razão nos ensina que apenas os átomos e o vazio existem de fato.
- Nem todos os primeiros filósofos gregos condenavam o uso dos sentidos. Empédocles, por exemplo, defendia o seu uso. Para ele, os sentidos podem não ser perfeitos, mas são guias úteis se usados com discriminação, cada qual para o seu tipo de percepção particular.

Platão
(429–347 a.C.)



- Existem dois mundos ou reinos distintos: o mundo das formas ou idéias, contendo a idéia perfeita de cada coisa; e o mundo material em que essas formas ou idéias são replicadas de forma imperfeita.
- As formas são incorpóreas, intangíveis e insensíveis. Elas são eternas e absolutamente imutáveis. O mundo das formas contém a idéia ou forma perfeita de qualquer coisa do mundo material.
- Não se pode falar da localização do mundo das formas, pois elas são incorpóreas e, portanto, não espaciais;
- Apesar disso e de serem imperceptíveis aos sentidos, elas existem objetivamente.

Repostas da teoria platônica aos problemas dos pré-socráticos

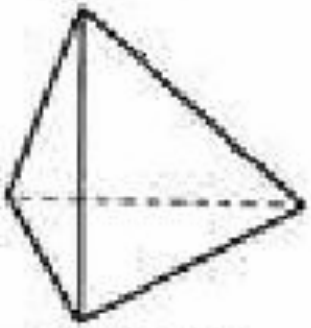
- A realidade última buscada pelos pré-socráticos corresponde ao mundo das formas e o mundo corpóreo das coisas sensíveis tem status secundário.
- Tanto a **mudança** como a **estabilidade** são genuínas; elas apenas têm níveis *diferentes* de realidade: o reino material é o lugar das imperfeições e da mudança; e o reino das formas é caracterizado por perfeição imutável e eterna.
- Quanto ao problema epistemológico, a observação empírica é oposta à razão. Os sentidos são como cadeias que nos aprisionam e a única rota para o conhecimento é através da reflexão filosófica.

- Platão criticava os filósofos pré-socráticos (os *physikoi*) por terem tirado a divindade do mundo. Segundo ele, o fato de os primeiros filósofos serem materialistas e de terem proposto que as coisas do mundo se comportam de acordo com sua natureza intrínseca, e de que isso é suficiente para explicar a ordem e a regularidade do cosmos, desproveu o mundo de plano ou *propósito*.
- Para Platão, a ordem e a racionalidade do cosmos só podem ser explicadas pela imposição de uma mente externa. Se, para os *physikoi*, a fonte da ordem do cosmos estava na *physis* (natureza), para Platão ela estava na *psyché* (mente, ou alma).

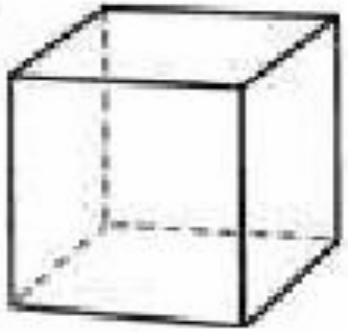
- Platão imaginava o cosmos como o trabalho de um artesão divino, o **Demiurgo**. Para Platão, o Demiurgo tinha uma relação com o cosmos similar à que um carpinteiro artesão tem para com os objetos de madeira que constrói. Ele é um deus *racional* (de fato, a própria personificação da razão) que luta contra as limitações impostas pelos materiais à sua disposição para produzir um cosmos tão *bom*, *belo* e intelectualmente satisfatório quanto possível.
- O Demiurgo, para Platão, não é um deus todo-poderoso que criou tudo do nada como na tradição judaico-cristã, mas um deus que parte de um universo cuja matéria-prima já existe e tem propriedades sobre as quais ele não tem controle. Essa matéria-prima inicial está em estado de caos e a ação do Demiurgo impõe ordem a ela segundo um plano racional.

“Atomismo geométrico” de Platão

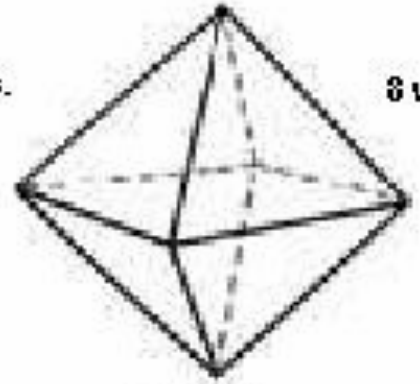
- O Demiurgo é um *matemático*. O cosmos foi construído segundo princípios *geométricos*.
- Os elementos são feitos de *átomos* com as formas de 4 dos 5 sólidos geométricos regulares: fogo = tetraedro; ar = octaedro; água = icosaedro; terra = cubo.
- O dodecaedro, que é o sólido regular mais parecido com uma esfera, é identificado com o cosmos como um todo.
- Os elementos podem se transmutar uns nos outros: por exemplo, um átomo de água (icosaedro) pode ser separado em seus 20 triângulos equiláteros e depois recombinado em, digamos, 2 átomos de ar (dois octaedros) e 1 de fogo (1 tetraedro). Apenas a terra, que é feita de quadrados (não podem ser divididos em triângulos equiláteros), não pode se transmutar.



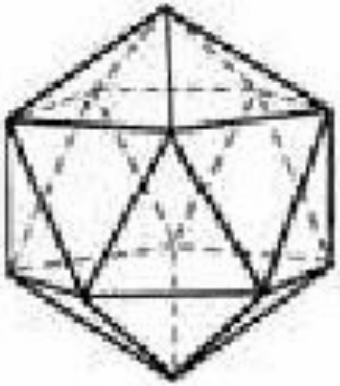
Tetrahedron
4 vertices. 6 edges. 4 faces.



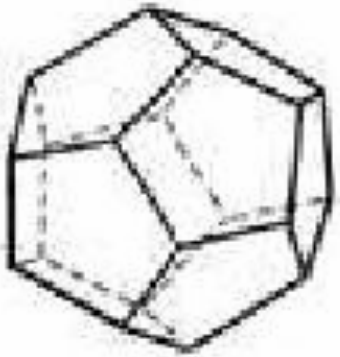
Cube
8 vertices. 12 edges. 6 faces.



Octahedron
6 vertices. 12 edges. 8 faces.



Icosahedron
12 vertices.30 edges. 20 faces.



Dodecahedron
20vertices.30 edges.12faces.

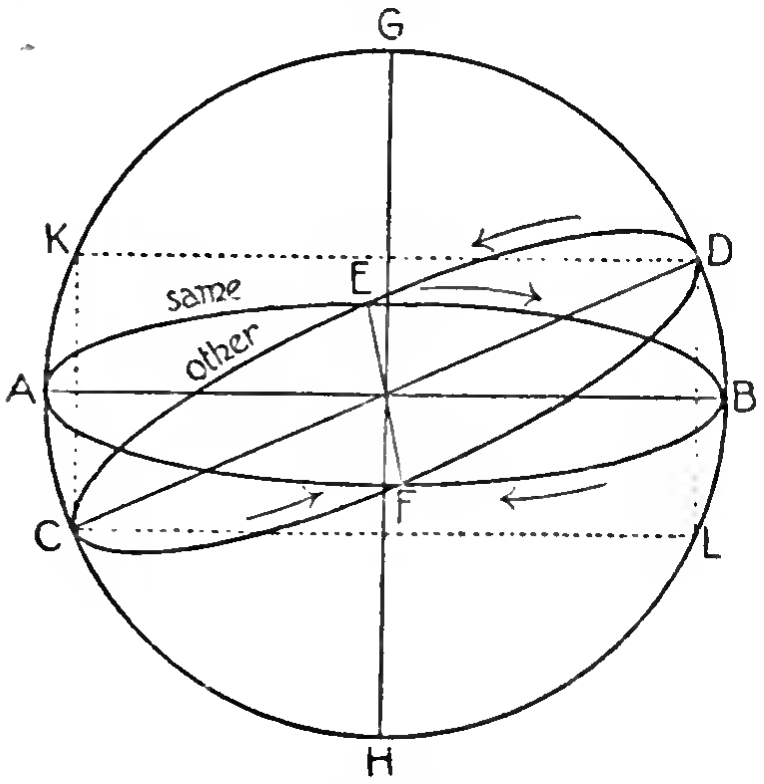
Modelo Cosmológico Platônico

- O cosmos tem forma *esférica*, pois a esfera é a forma mais simétrica e homogênea que existe; o homogêneo é muito mais *belo* que o heterogêneo.
- A Terra é uma *esfera* imóvel no centro do cosmos.
- O cosmos é formado por 8 esferas concêntricas que se encaixam umas nas outras. A mais externa delas é a esfera das estrelas fixas e cada uma das demais é associada a um dos 7 corpos celestes conhecidos na Antiguidade: Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.
- As estrelas estão fixas na esfera mais externa e esta gira em torno de um eixo que passa pelo centro da Terra executando um *movimento circular uniforme*. A rotação da esfera das estrelas fixas coloca em movimento, por contato, as outras esferas e cada uma gira em sentido contrário ao da primeira esfera com sua própria velocidade, diferente das demais.

Movimento Circular Uniforme

- O movimento circular e uniforme é o mais apropriado para a razão e a inteligência.
- Platão explicou o movimento observado do Sol como a combinação de dois movimentos circulares uniformes: o da esfera das estrelas fixas em torno do eixo que passa pelo centro da Terra e os polos norte e sul celestes, de leste para oeste e com período de um dia; e o de um círculo, que ele chamou de Diferente, que girava para leste com período de um ano e era inclinado em relação ao equador celeste conforme a eclíptica.
- Platão, porém, não conseguiu explicar os movimentos errantes dos planetas e da lua com o mesmo artifício de usar um círculo com movimento circular uniforme para cada astro.

Modelo de Platão para o movimento do Sol



Heath, T.L., Aristarchus of Samos, Oxford: Carendon Press, 1913, p.160

A figura ao lado representa uma esfera imaginária concêntrica com a esfera celeste cujo raio é a distância do centro da Terra ao Sol. GH é o eixo polar. O grande círculo AEBF, denominado *mesmo*, é o equador celeste e descreve o movimento diurno do Sol de leste para oeste. O grande círculo CFDE, denominado *diferente*, é a eclíptica e descreve o movimento anual do Sol de oeste para leste através do zodíaco. A composição dos dois movimentos circulares resulta na trajetória espiralada do Sol pelo céu observada da Terra.

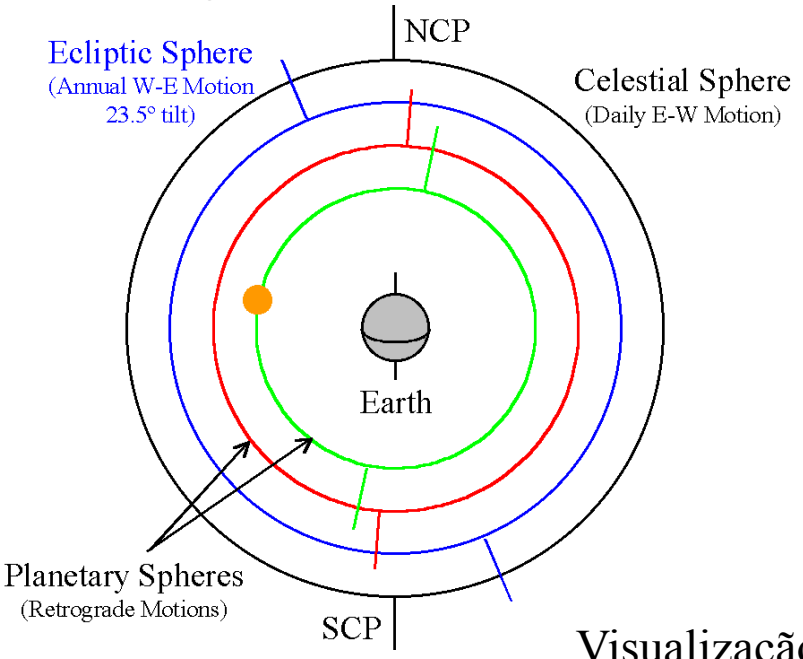
Axioma Platônico

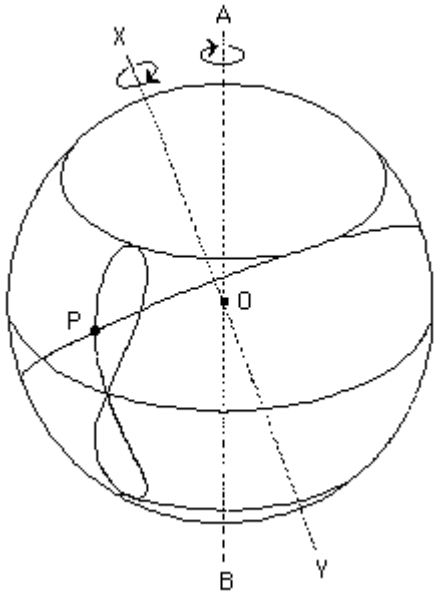
- Segundo a tradição que se estabeleceu entre os astrônomos da Antiguidade, Platão lançou o seguinte problema aos astrônomos: Que movimentos circulares e uniformes devem ser tomados como hipótese para *salvar* os movimentos fenomênicos das estrelas errantes?
- Este desafio, que ficou conhecido como "axioma platônico", dominou a astronomia teórica como uma espécie de camisa de força conceitual pelos próximos dois mil anos.

Eudoxo de Cnidos (~390 a.C. a ~337 a.C.)

- Discípulo de Platão, foi o primeiro a propor uma solução ao problema de explicar os movimentos dos astros em termos de combinações de movimentos circulares uniformes.
- A cada astro ele associou um conjunto de esferas concêntricas com movimentos diferentes: 4 esferas para cada um dos 5 planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) e, para o Sol e a Lua, 3 esferas cada. Havia também uma esfera para as estrelas fixas, dando um total de 27 esferas.

Exemplo: 4 esferas para um planeta. A esfera mais externa gira em torno do eixo norte-sul, de leste para oeste, com período de 24 hs. A segunda esfera gira em torno de um eixo perpendicular ao plano da eclíptica, no sentido oeste-leste, com período de 1 ano. As duas esferas internas giram com a mesma velocidade angular mas direções opostas em torno de eixos inclinados: a combinação dos seus movimentos produz uma figura em forma de 8 (chamada de *hipopédia*) que, quando combinada com o movimento da segunda esfera, produz uma boa aproximação ao movimento de laçadas dos planetas.

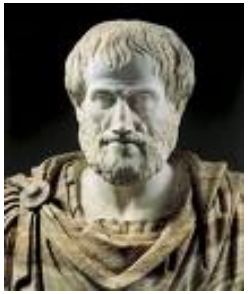




Visualização do Modelo de Eudoxo disponível no YouTube:
https://www.youtube.com/watch?v=_SFzDYSqR_4

- Ao que tudo indica, Eudoxo não atribuiu realidade física ao seu modelo; ele era puramente matemático.
- Eudoxo também nunca chegou a apresentar seu modelo de forma composta, com todas as esferas combinadas em um único sistema mecânico.
- Embora engenhoso, o modelo de Eudoxo não dava conta de todos os fatos observacionais conhecidos pelos gregos:
  - As laçadas previstas pelo modelo para cada planeta são sempre iguais, mas as laçadas observadas variam ao longo da trajetória;
  - As laçadas do modelo para Marte e Vênus são bem diferentes das observadas;
  - O modelo não explica as variações no diâmetro aparente da Lua e no brilho dos planetas.

Aristóteles
(384 – 322 a.C.)



- Discípulo de Platão na Academia, fundou sua própria escola, o Liceu.
- O mais completo e prolífico dos filósofos gregos, escreveu mais de 150 tratados sobre praticamente todos os assuntos (30 dos quais chegaram até nós, basicamente manuais didáticos para seus alunos).
- Exerceu grande influência sobre a física, desde a redescoberta de suas obras no Séc. XIII até a revolução científica do Séc. XVII.

Metafísica de Aristóteles

- As características essenciais das coisas não existem em um mundo separado como o mundo das formas platônico, mas estão presentes nas próprias coisas e objetos concretos do mundo material.
- Por exemplo, não existe a forma perfeita de cachorro independente dos cachorros materiais e da que todos os cachorros seriam réplicas. Para ele, existem apenas cachorros individuais que observamos no mundo à nossa volta. Esses cachorros certamente possuem uma série de atributos comuns – caso contrário nós não os chamaríamos de cachorros –, mas esses atributos existem nos cachorros individuais e pertencem a eles;
- Os reinos da forma e da matéria de Platão são um só e inseparáveis. Além do mais, eles existem em todas as coisas.

Mudanças naturais e forçadas

- Aristóteles usou sua teoria das causas para compatibilizar as noções de mudança e de estabilidade que preocupavam os pré-socráticos.
- Aristóteles diferenciava as mudanças dos corpos entre naturais e forçadas.
- Para ele, as mudanças naturais eram aquelas que levavam os corpos a realizar sua verdadeira "natureza". Caso não houvesse qualquer impedimento ou obstáculo externo intransponível, cada corpo no universo deveria se comportar de acordo com sua natureza.
- Por exemplo, a natureza de uma semente é se transformar em árvore. Aristóteles dizia que a semente é uma árvore em "potencialidade", mas só se torna uma árvore em realidade quando ela de fato se transforma em árvore.

- Outro exemplo dado por Aristóteles (de importância para a sua física) é o de um corpo pesado que cai de uma certa altura em direção ao chão.
- Para Aristóteles, é da natureza dos corpos pesados dirigir-se ao seu "lugar natural" (o centro do universo, que coincide com o centro da Terra na sua cosmologia como veremos adiante). Portanto, segundo Aristóteles, o movimento de queda de um corpo pesado quando solto de certa altura é apenas a realização da sua potencialidade.
- O corpo só para de se movimentar em direção ao centro da Terra porque encontra um obstáculo (o piso de uma sala ou o próprio chão); caso contrário ele continuaria a se movimentar até chegar ao seu lugar natural que é o centro da Terra.

- Como Aristóteles acreditava que a natureza de uma coisa só pode ser conhecida ou descoberta a partir de observações do comportamento dessa coisa “ao natural”, sem influências de agentes externos, ele não aconselhava a realização de experimentos que pudessem interferir com a coisa sendo estudada.
- Para ele, os experimentos nada podem nos revelar sobre a natureza de um objeto que não possamos descobrir apenas pela observação do objeto em situações naturais.
- Essa opinião, radicalizada e transformada em dogma pelos seguidores posteriores de Aristóteles, teve como consequência uma estagnação no avanço das ciências empíricas por muitos séculos.

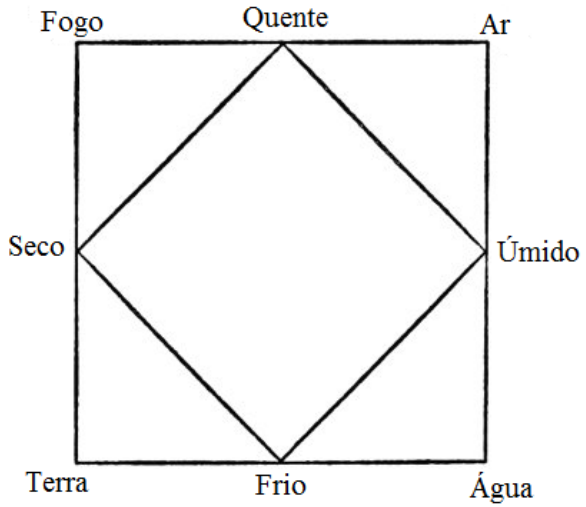
A Cosmologia de Aristóteles

- O universo é eterno, sem início e sem fim.
- O universo é uma grande esfera dividida em uma parte superior e uma parte inferior separadas pela concha esférica onde a Lua está situada.
- A Terra está imóvel no centro.
- As coisas da região abaixo da Lua – a região *sublunar* ou terrestre – têm natureza efêmera e transiente: são caracterizadas por nascimento e morte.
- As coisas da parte acima da Lua – a região *supralunar* ou celeste – são de natureza eterna e imutável.
- A Lua, situada no meio, tem natureza intermediária entre as duas regiões.

- Os movimentos naturais dos corpos são distintos nas duas regiões.
- Segundo Aristóteles, as observações feitas desde tempos remotos sobre os movimentos dos corpos celestes mostram que esses movimentos são cíclicos e circulares. O movimento natural na região supralunar, portanto, é o *circular* (em torno do centro que é a Terra). Por outro lado, no mundo terrestre observa-se que o movimento natural dos corpos é o de subida ou queda *vertical*.
- Como o movimento natural dos corpos terrestres, feitos dos 4 elementos (terra, água, ar e fogo), é vertical e transitório e o movimento natural dos corpos celestes é circular e eterno, Aristóteles conclui que os corpos celestes devem ser feitos de um quinto elemento, chamado de quintessência ou *éter*.
- Para Aristóteles, o mundo supralunar está totalmente preenchido pelo éter (não há vácuo) e ele está dividido em esferas concêntricas nas quais estão localizados os planetas.

- Aristóteles achava que os corpos do mundo sublunar eram feitos dos 4 elementos e esses elementos podem ser reduzidos a coisas ainda mais fundamentais.
- Ao contrário de Platão, que achava que as coisas mais fundamentais eram átomos com as formas dos sólidos regulares, Aristóteles achava que as coisas fundamentais eram 4 qualidades sensíveis, dadas por dois pares de qualidades contrárias: quente e frio e seco e úmido.
- Para Aristóteles, as qualidades contrárias não podem se combinar, mas as outras combinações aos pares são possíveis e geram os quatro elementos:

  - Frio e seco = terra;
  - Frio e úmido = água;
  - Quente e úmido = ar;
  - Quente e seco = fogo.



Quadrado mostrando os quatro elementos e os dois pares de qualidades contrárias de Aristóteles.

Para Aristóteles, como resultado de ações externas cada uma das qualidades de um elemento pode ser substituída pela qualidade contrária a ela. Ele usava esse esquema para explicar as mudanças de estado (de sólido para líquido, de líquido para vapor, etc).

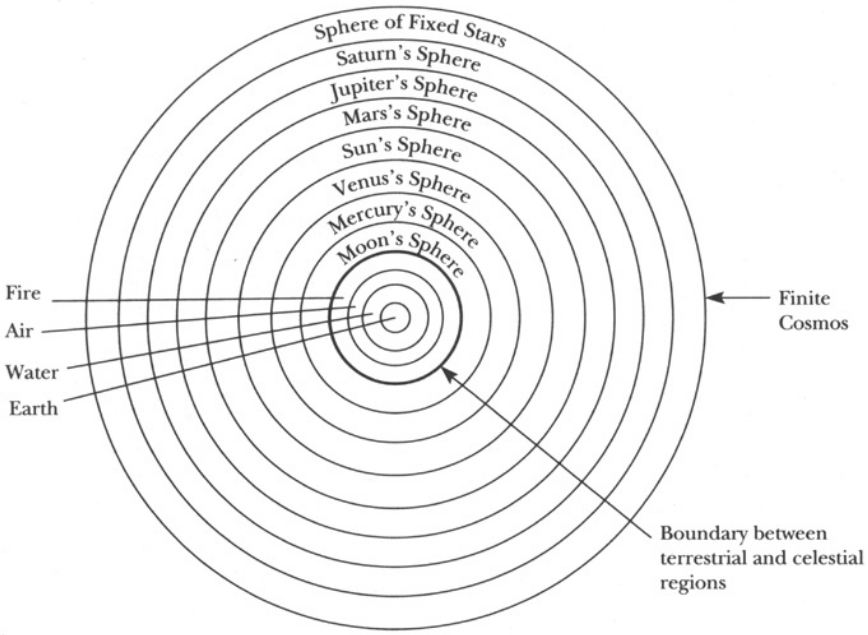
Por exemplo, quando se esquenta a água o frio presente nela se transforma em quente e a água se torna ar. Outras transformações também são possíveis e Aristóteles acreditava que elas explicavam transmutações de uma substância em outra.

- Aristóteles era contrário à idéia de átomos e de espaço vazio (vácuo) dos atomistas.
- Para ele, assim como o mundo supralunar é completamente preenchido por éter, o mundo sublunar também é completamente preenchido pelos 4 elementos, porém com densidades variáveis (mas nunca nulas).
- Um dos argumentos usados por Aristóteles contra a existência do vácuo é o seguinte: segundo a observação, a velocidade de queda de um corpo depende da densidade do meio em que ele cai; e quanto menor a densidade, mais rápido é o movimento de queda. Portanto, no espaço vazio (densidade zero) não há nada que se oponha à queda do corpo, o que nos leva a concluir que o corpo teria velocidade infinita em tal situação. E um corpo com velocidade infinita estaria em todos os pontos da trajetória ao mesmo tempo, o que é impossível.

- Para Aristóteles, além dos dois pares de qualidades contrárias, quente-frio e seco-úmido existem mais duas qualidades contrárias que caracterizam os elementos: pesado e leve.
- Para Aristóteles, a terra e a água são pesadas, sendo que a terra é mais pesada que a água; já o ar e o fogo são leves, sendo que o fogo é o mais leve dos dois.
- É importante deixar claro que, para Aristóteles, pesado e leve são qualidades *absolutas*: terra e água são pesadas e não leves, enquanto que ar e fogo são leves e não pesados.
- As gradações (mais ou menos pesado, ou mais ou menos leve) só existem entre elementos de mesma qualidade, ou seja, um elemento pesado não o é por ser menos leve ou vice-versa.

- As qualidades “pesado” e “leve” determinam o tipo de movimento natural de um corpo na região sublunar.
- O movimento natural dos elementos pesados (terra e água) é vertical em direção ao centro do universo e o movimento natural dos elementos leves (ar e fogo) é vertical se afastando do centro do universo.
- Portanto, se não houvesse obstáculos, a terra e a água se dirigiriam para o centro do universo e, como a terra é mais pesada, ela ficaria na posição mais baixa formando uma esfera com centro coincidindo com o centro do universo. A água ficaria por cima da terra, constituindo uma camada esférica envolvendo a terra.
- O ar e o fogo, por outro lado, se moveriam para a periferia da região sublunar. Como o fogo é mais leve, ele ocuparia a camada esférica mais externa, ficando o ar na camada esférica entre a do fogo e a da água.

O Cosmos Aristotélico



Caso todos os corpos fossem puros, isto é, não constituídos por misturas dos quatro elementos, toda a terra estaria em uma esfera no centro do universo, cercada por uma esfera de água, com uma esfera de ar por cima e com a esfera de fogo na extremidade, fronteiriça à esfera lunar.

Movimento

- A teoria do movimento de Aristóteles se baseia em dois princípios:
  1. Não há movimento espontâneo. Todo movimento tem que ter um motor;
  2. Há dois tipos de movimento: natural, em direção ao lugar natural do corpo que se move; e forçado ou violento, em qualquer outra direção.
- O motor de um movimento natural é a própria natureza do corpo;
- O motor de um movimento violento é alguma força externa.
- Corpos misturados tendem a se mover na direção determinada pelas proporções dos 4 elementos na sua composição.

Movimento de um projétil

- Porque um projétil movendo-se na horizontal, portanto executando um movimento forçado, não para quando perde contato com o motor que o forçou?
- Para Aristóteles, o meio onde o projétil se move toma o papel do motor: quando lançamos um projétil, também atuamos sobre o meio em volta (ar, por exemplo) transmitindo a ele o poder de mover objetos.
- Esse poder é transferido a regiões adjacentes do meio de maneira que o projétil esteja sempre em contato com uma porção do meio capaz de movimentá-lo.
- O movimento violento do projétil persiste até que a "potência motriz" originalmente impressa no ar desapareça.

Duas hipóteses sobre como o ar pode mover o projétil

- Para explicar como um projétil pode se mover mesmo depois de perder contato com o corpo que o moveu, Aristóteles (livro IV da *Física*) apresenta duas hipóteses:
  1. O ar empurrado pelo projétil circula pelos lados deste e passa para a parte de trás do projétil, empurrando-o em seguida. Este processo é chamado de *antiperistasis* (substituição recíproca);
  2. O ar que foi empurrado junto com o projétil no instante em que ele é lançado move-se para a frente mais rapidamente que o movimento natural do projétil (que seria de queda) e isso faz com que o projétil siga adiante sem cair.
- Aristóteles parece preferir a segunda hipótese.

Aristóteles e o Movimento Inercial

- Em uma famosa passagem do livro IV da *Física*, Aristóteles enuncia a lei da inércia, mas a considera absurda e usa isso como mais um dos seus argumentos para provar que o vácuo é impossível.
- Segundo ele, se existisse o vácuo e um projétil fosse lançado nele, depois da perda do contato com o motor que o lançou:

  Não poderíamos dizer porque uma coisa uma vez colocada em movimento pararia em algum lugar, porque ela pararia mais aqui do que ali? Tal que uma coisa ou estaria em repouso ou deveria continuar seu movimento sem limites, a menos que alguma coisa mais poderosa entrasse no seu caminho

- Para Aristóteles, a rapidez de um movimento também depende da resistência do meio.
- Para Aristóteles, quando dois corpos de pesos iguais caem, os tempos de queda são inversamente proporcionais aos seus pesos: um corpo com o dobro do peso levará metade do tempo para atingir o solo.
- Se corpos de pesos iguais movem-se por meios de densidades diferentes, o tempo gasto para cobrir uma certa distância é proporcional à densidade de cada meio.
- Se uma dada força move um dado peso (contra sua natureza) por uma dada distância em um dado tempo, a mesma força moverá metade do peso pelo dobro da distância no mesmo tempo.

- Com base nos escritos de Aristóteles sobre o movimento forçado (contidos em seus livros *Do Céu* e *Física*), comentadores posteriores tentaram sintetizar a lei de movimento de Aristóteles da seguinte maneira:

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

- A velocidade (v) é diretamente proporcional à força motriz (F) e inversamente proporcional à resistência (R).
- No caso especial de um corpo pesado em queda a força motriz é o peso (P), de maneira que:

$$v = \frac{P}{R}$$

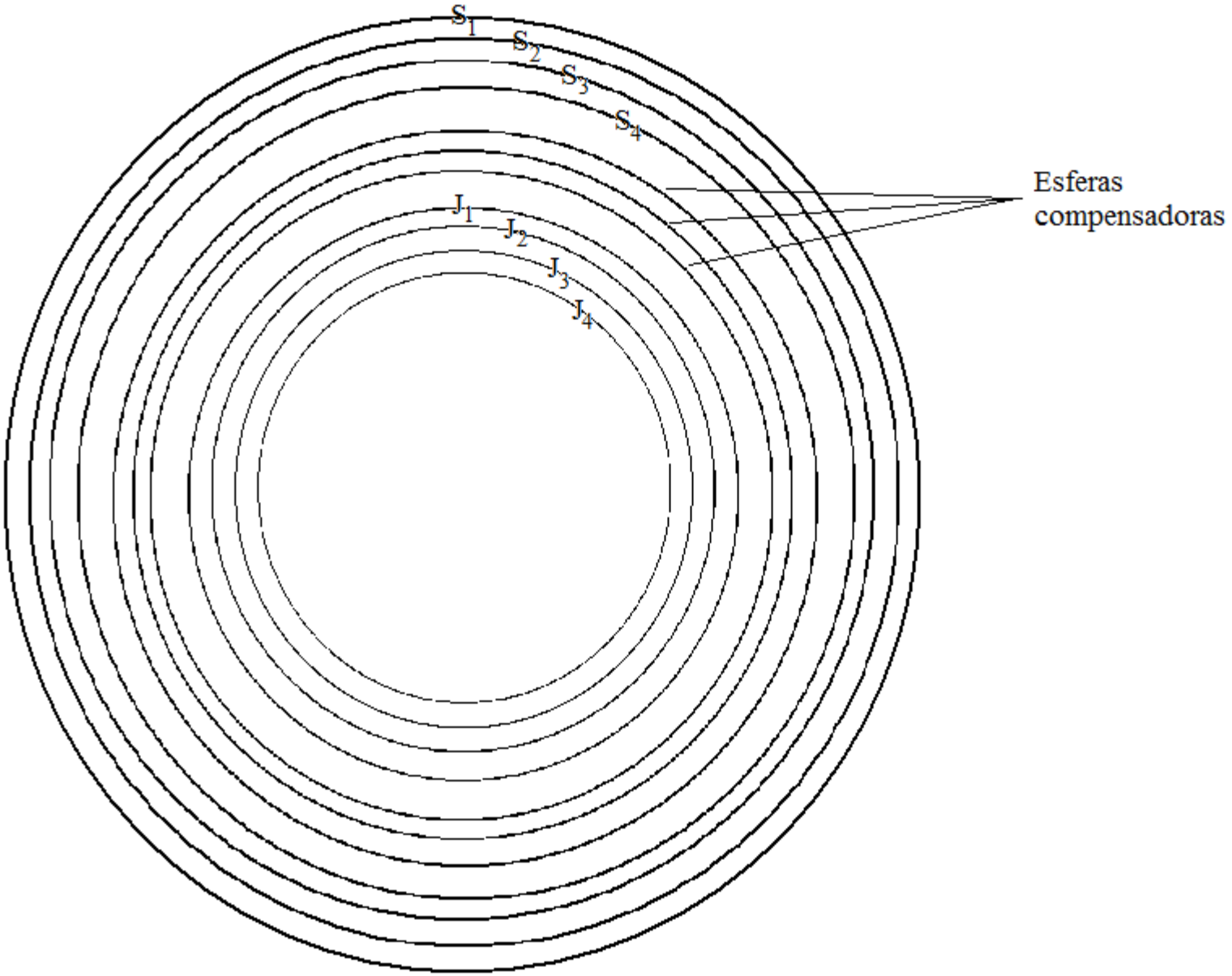
- Deve-se tomar cuidado com as expressões das ideias de Aristóteles sobre movimento em termos de fórmulas matemáticas.
- Fórmulas sugerem que a relação entre as variáveis (F ou P, R, v) valem para todos os seus valores, mas Aristóteles não pensava assim.
- Por exemplo, Aristóteles achava que quando a resistência R fosse igual à força motriz F não haveria movimento (o que corresponderia a $v = 0$); isso vai contra a fórmula anterior.
- Mesmo o uso do termo para v nas fórmulas é complicado, pois Aristóteles e os gregos não tinham o conceito de velocidade como medida quantitativa de movimento (este conceito só apareceu na Idade Média).

Movimento dos Corpos Supralunares

- Como os movimentos circulares dos corpos celestes são eternos, ele são naturais e não forçados.
- As causas desses movimentos não podem ser coisas moventes, pois algo que se move deve adquirir seu movimento de alguma causa e se esta causa for móvel ela deve ser movida por algo e assim por diante, sem que nunca se chegue a um fim. Portanto, o motor dos movimentos celestes é algo imóvel.
- Cada corpo celeste tem o seu próprio Primeiro Motor (*Primum Mobile*), uma divindade puramente contemplativa e não espacial que move o corpo celeste não como causa eficiente (pois não existe contato entre o Primeiro Motor e o corpo), mas como causa final: os corpos celestes se movem para alcançar a perfeição eterna de seus primeiros motores.

Modelo Astronômico Aristotélico

- Aristóteles atribuiu realidade física às esferas do modelo de Eudoxo. Enquanto este tratava (ao que tudo indica) suas esferas apenas como constructos geométricos, Aristóteles considerava que elas eram objetos físicos (feitos de éter, sua causa material).
- O movimento complexo de um corpo celeste resulta do contato (por atrito) entre as várias esferas do modelo de Eudoxo.
- Para cancelar o efeito dos movimentos das esferas de um planeta sobre as esferas do planeta logo abaixo, novas esferas com movimentos opostos (esferas compensadoras) foram introduzidas entre as esferas de cada planeta, resultando em um modelo com 55 esferas.



Esferas aninhadas do modelo aristotélico para os planetas Saturno e Júpiter. Para que os movimentos das 3 esferas mais interiores de Saturno não contaminem o movimento da primeira esfera de Júpiter, Aristóteles adicionou 3 esferas compensadores entre elas.

The Hellenistic World

Período Helenístico

- Escolas atenienses:
  - – Academia (388 a.C. a ~83 a.C.): fundada por Platão (refundada por neoplatônicos no século V); comunidade filosófica de iguais.
  - – Liceu (335 a.C. a ~86 a.C): fundada por Aristóteles; seus membros eram conhecidos como "peripatéticos"; prática da pesquisa cooperativa.
  - – Stoa (312 a.C. a séc. II): fundada por Zenão de Cítio (334 a.C. a 262 a.C.); origem da filosofia estóica.
  - – Jardim de Epicuro (307 a.C. a séc. III): fundada por Epicuro (341 a.C. a 270 a.C.); origem da filosofia epicurista.
- Museu (templo das musas) e Biblioteca de Alexandria (~307 a.C. a sécs. IV–VI).

Epicuristas e Estóicos

- O principal objetivo da filosofia é atingir a felicidade.
- O objetivo da física é obter conhecimento sobre os fenômenos naturais e suas causas para nos livrar da ignorância, acabando com nossos medos e ansiedades.
- A principal motivação para estudar física é, portanto, obter paz de espírito.
- Não há muita necessidade de aprofundar o estudo da física além do ponto necessário para se obter uma compreensão dos fenômenos a nossa volta suficiente para descartar a possibilidade de intervenção sobrenatural e eliminar medos irracionais.

Física e Matemática na Grécia Antiga

- A partir de Aristóteles, os gregos antigos faziam uma separação sistemática entre física e matemática.
- A física estuda a natureza e os objetos naturais, caracterizados por movimento e mudança.
- A matemática estuda objetos como planos, linhas, pontos e números. Embora tenham origem no mundo material, tais objetos são estudados pela matemática de forma abstrata.
- Em ordem de abstração (do menos físico ao mais físico), os ramos da matemática eram:
  - Aritmética e geometria plana e sólida;
  - Óptica, harmonia, mecânica e astronomia.
- Os últimos eram subdivididos em um ramo matemático e outro físico, por exemplo óptica matemática e óptica física.
- Os gregos desenvolveram como nenhum outro povo da Antiguidade o aspecto formal, rigoroso da matemática.

Euclides (~300 a.C.)

- Quase nada se sabe sobre sua vida. Trabalhou em Alexandria.
- Escreveu sobre óptica, astronomia e teoria musical, mas sua maior obra foi *Os Elementos*, que reúne teoremas de matemáticos anteriores (Eudoxo, por exemplo) e do próprio Euclides na forma de um sistema axiomático, dedutivo.
- *Os Elementos* começa com um conjunto de definições (ponto, reta, plano, etc), postulados e axiomas (noções comuns). O resto é uma lista de proposições com suas respectivas provas. A prova de uma demonstração segue *necessariamente* das definições, postulados, axiomas e proposições anteriores. Esse estilo axiomático tornou-se o **modelo** para demonstrações científicas até o fim do séc. XVII.
- Euclides desenvolveu uma teoria puramente geométrica para a óptica, segundo a qual raios retilíneos saem do olho formando um cone e os objetos visíveis são aqueles no interior do cone.

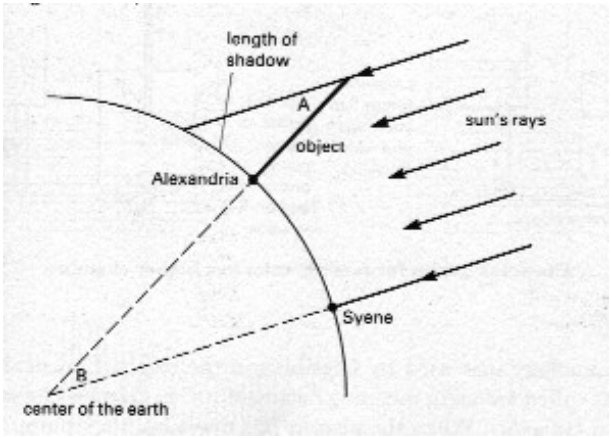
Arquimedes de Siracusa (~287 a.C. - ~212 a.C.)

- Um dos mais criativos e originais cientistas gregos, escreveu sobre matemática, óptica, estática, hidrostática, astronomia e engenharia.
- Utilizou métodos mecânicos para provar teoremas de geometria e métodos geométricos para resolver problemas de mecânica.
- Em seus livros sobre estática e hidrodinâmica (*Do Equilíbrio dos Planos*, *Da Mecânica* e *Dos Corpos Flutuantes*), fornece tratamentos matemáticos sistemáticos da lei da alavanca (descoberta por discípulos de Aristóteles no Liceu) e de problemas de equilíbrio de corpos apoiados em balanças e imersos em fluidos.
- Os livros seguem a mesma estrutura d'*Os Elementos*: provas dedutivas rigorosas a partir de definições. Os problemas são formulados em termos ideais, matemáticos (despreza-se o atrito) e o tratamento é geométrico.

Eratóstenes de Cirene (~276 a.C. - ~195 a.C.)

- Trabalhou em vários campos – matemática, astronomia, geografia, música, literatura – e foi diretor da Biblioteca de Alexandria. Sua principal contribuição foi na aplicação da matemática à geografia.
- Fez o primeiro mapa detalhado do mundo (conhecido à sua época) baseado em um sistema de coordenadas de longitude e latitude.
- Calculou com precisão muito boa a circunferência da Terra a partir de medidas feitas em Alexandria e Siena, uma cidade no Egito ao sul de Alexandria.

Método de Eratóstenes para Medir a Circunferência da Terra



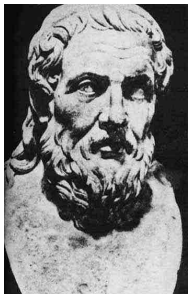
$$\frac{\text{Circunferência da Terra}}{\text{Distância Siena-Alexandria}} = \frac{360^\circ}{7{,}5^\circ}$$

$$\frac{\text{Circunferência da Terra}}{5250 \text{ estádios}} = \frac{360^\circ}{7{,}5^\circ}$$

Circunferência da Terra = 252.000 estádios

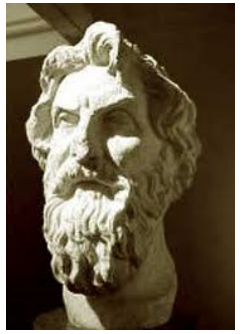
- Uma haste vertical (gnômon) colocada na cidade de Siena, aproximadamente no mesmo meridiano de Alexandria, não produz sombra no solstício de verão;
- No mesmo dia, em Alexandria, a sombra produzida subentende um ângulo A = 7,5°.
- Assumindo que os raios do Sol são paralelos, A é igual a B, o ângulo formado pelas retas que ligam Alexandria e Siena ao centro da Terra.

Apolônio de Perga (~262 a.C. - ~190 a.C.)



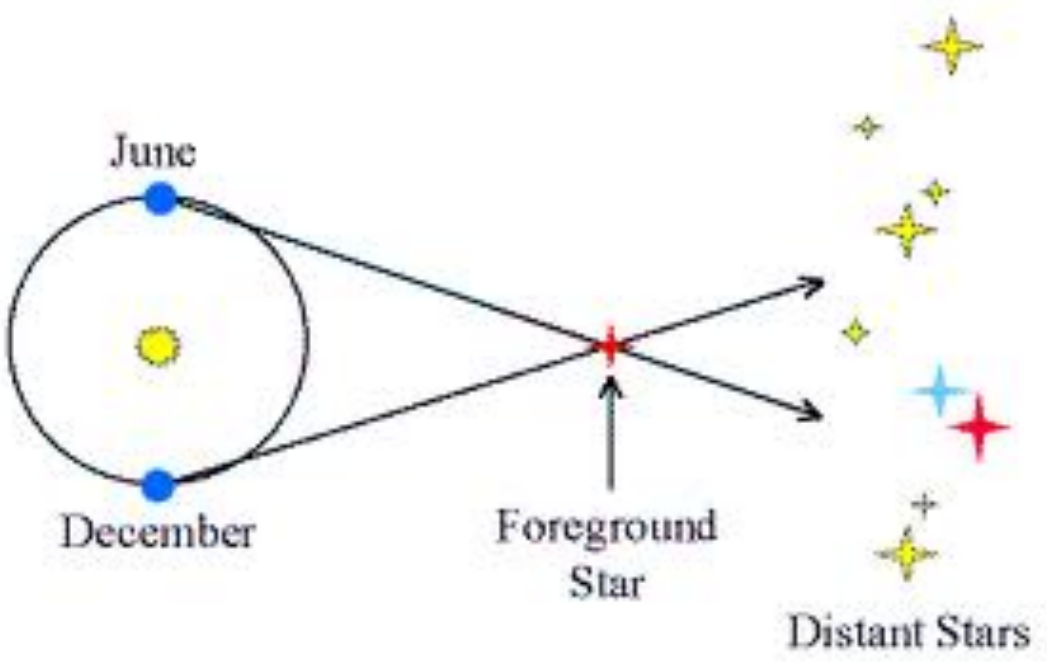
- Importante matemático e astrônomo grego.
- Sua principal obra matemática foi um tratado sobre as seções cônicas: elipse, parábola e hipérbole (esses nomes foram dados por ele).
- Suas obras sobre astronomia se perderam, mas sabe-se que foi o criador dos conceitos de *epiciclo* e ciclo *excêntrico*, base do modelo astronômico ptolomaico (ver mais adiante).
- Séculos mais tarde, as seções cônicas tornaram-se importantes também em astronomia.

Aristarco de Samos (~310 a.C. a ~230 a.C.)



- Propôs um modelo heliocêntrico para o universo, com o Sol fixo no centro e a Terra girando em órbita circular em torno dele. A esfera das estrelas fixas também é fixa e a Terra gira em torno de seu eixo.
- O modelo de Aristarco prevê o efeito da *paralaxe estelar*, que não é observado.
- Para justificar a não observação de paralaxe estelar, Aristarco propôs que a esfera das estrelas fixas está a uma distância da Terra muito maior do que a desta ao Sol.
- Apenas um astrônomo helenístico – Seleuco de Selêucia (~150 a.C.) – adotou a teoria de Aristarco.

Paralaxe Estelar



Argumentos contra o Modelo Heliocêntrico

- Há 3 tipos de argumentos usados pelos astrônomos gregos contra o modelo heliocêntrico de Aristarco.
  - Argumentos físicos baseados na teoria aristotélica dos movimentos naturais: o movimento natural dos corpos pesados é em direção ao centro do universo e a observação indica que os corpos pesados caem em direção ao centro da Terra. Portanto, o centro da Terra deve coincidir com o centro do universo e ela deve estar imóvel, pois só uma força enorme poderia superar sua tendência natural.
  - Argumentos físicos baseados em observações de objetos que se movem no ar: se a Terra girar em torno de seu eixo completando uma volta a cada 24h, a velocidade de um dado ponto sobre a superfície da Terra deve ser muito grande. Como explicar que não há evidências observacionais desse movimento? Uma possível explicação é que o ar em torno da Terra move-se junto com ela, mas porque mesmo os corpos sólidos movendo-se pelo ar não apresentam nenhum efeito dessa rotação?
  - Argumento astronômico baseado na ausência de observação de paralaxe estelar: a explicação dada por Aristarco de que a esfera das estrelas fixas está muito mais distante da Terra do que esta do Sol implica num universo muito maior do que se imaginava à época dos gregos.

Epiciclos e Excêntricos

- Um problema que nem o modelo heliocêntrico de Aristarco e nem o modelo geocêntrico de esferas concêntricas de Eudoxo conseguia explicar era o da desigualdade das estações, medidas pelos períodos entre os solstícios e equinócios.
- Para explicar esse fenômeno, além de outros, Apolônio introduziu os conceitos de *epiciclo* e ciclo *excêntrico*.
- Esses conceitos preservavam as duas suposições básicas que a maioria absoluta dos astrônomos helenísticos queria manter: o sistema *geocêntrico* e o preceito platônico de explicar os fenômenos celestes em termos de *movimentos circulares uniformes*.
- Apolônio provou que os dois sistemas são geometricamente equivalentes, ou seja, a escolha entre um ou outro em uma dada situação pode ser feita em termos do que fornece a solução mais simples para o caso.
- Mais importante, o modelo de epiciclos é bastante adaptável, isto é, dados parâmetros adequados ele pode ajustar qualquer tipo de órbita

Epiciclo, Excêntrico e sua equivalência

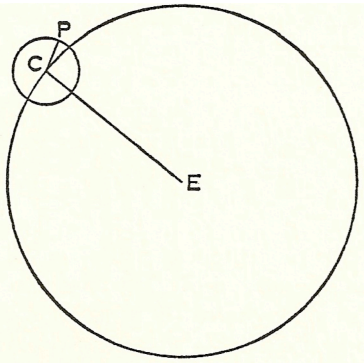


Fig. 5 Epicyclic motion. The planet (P) moves round the circumference of an epicycle, whose centre (C) itself moves round the circumference of the deferent circle, centre E, the earth.

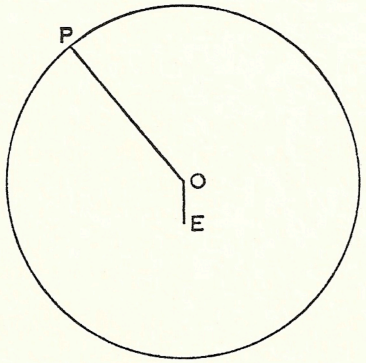


Fig. 6 Eccentric motion. The planet (P) moves round the circumference of a circle, whose centre (O) does not coincide with the earth (E).

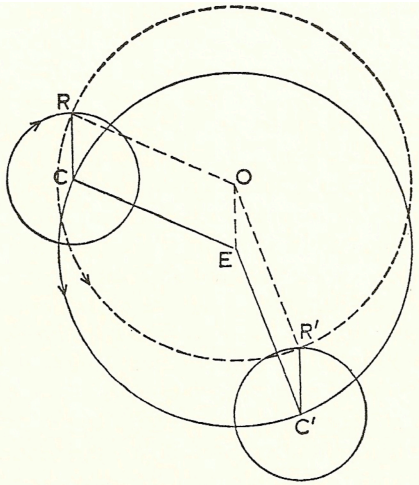


Fig. 7 The simplest case of the equivalence of eccentric and epicyclic motions. When the radius of the deferent circle (CE) is equal to that of the eccentric circle (RO) and the radius of the epicycle (RC) is equal to the eccentricity (OE), then if the angular velocities are regulated so that R and E remain the vertices of a parallelogram CROE, the two models give exactly equivalent results.

Lloyd, G.E.R., 1973

Epiciclos e Excêntricos: desigualdade das estações e retrogradação planetária

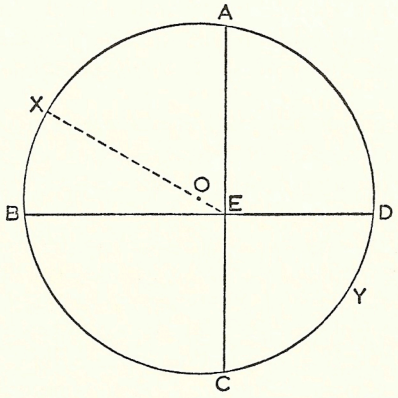


Fig. 8 The inequalities of the seasons explained by the eccentric hypothesis.

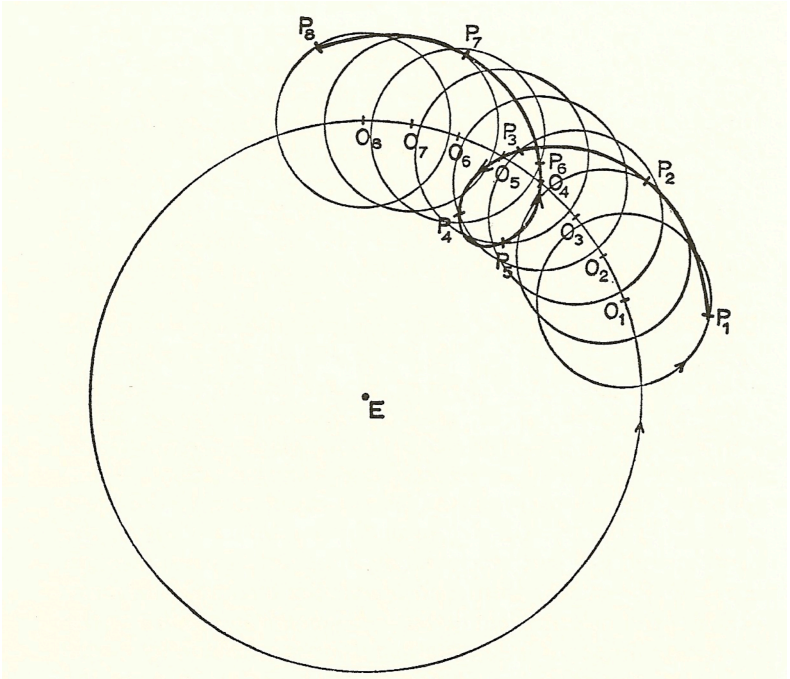


Fig. 9 The epicyclic model used to explain the retrogradation of the planets.

Lloyd, G.E.R., 1973

Hiparco de Nicéia
(190 a.C. – 120 a.C.)

- Talvez o maior astrônomo da Grécia Antiga. Infelizmente, pouco do que escreveu sobreviveu e o que sabemos de seus trabalhos vem de comentários de outros autores (por exemplo, Ptolomeu).
- Principal introdutor do conhecimento astronômico dos mesopotâmicos entre os gregos, aliou os métodos geométricos dos gregos com as técnicas numéricas dos babilônios e muito contribuiu para transformar a astronomia em uma ciência quantitativa e precisa.
- Um dos inventores da trigonometria, usou-a a para calcular distâncias astronômicas como as distâncias médias entre a Terra e o Sol e a Lua.
- Descobriu a precessão dos equinócios e elaborou o maior catálogo de estrelas da Antiguidade.
- Inventou alguns instrumentos astronômicos, como o *dioptro*, para medir os diâmetros aparentes do Sol e da Lua, e aperfeiçoou o astrolábio.

Precessão dos Equinócios

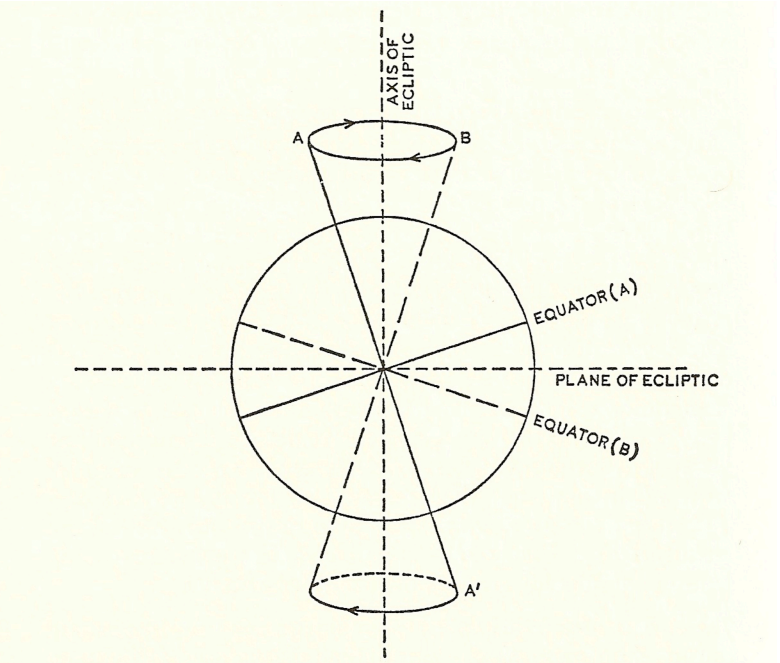


Fig. 12 The precession of the equinoxes. The earth's polar axis (AA') rotates slowly about the axis of the ecliptic completing a single revolution (A to B back to A) in about 26,000 years.

Lloyd, G.E.R., 1973

Herão de Alexandria (~10 – 70)

- Um dos principais físicos experimentais da Grécia antiga, seus trabalhos principais foram no campo da Pneumática (ciência dos fluidos compressíveis, como o ar).
- Teve como predecessores Estratão, Ctesibius de Alexandria (~285 a.C. – ~222 a.C.) e Filão de Bizâncio (~280 a.C. – ~220 a.C.).
- Para Herão, a palavra *pneuma* deixou de representar o mesmo que para Estratão e os estóicos e significava apenas ar em movimento.
- No seu tratado *Pneumática*, Herão argumenta que regiões macroscópicas de vácuo não existem na natureza, mas podem ser aproximadas artificialmente. Ele fornece várias demonstrações experimentais disso, provavelmente baseadas em trabalhos de seus predecessores.
- Herão explica que a distribuição de matéria e de vácuo no ar pode ser alterada pela aplicação de forças externas, embora o ar resista a essas alterações por sua elasticidade.
- Com relação às aplicações dos princípios demonstrados por Herão, ele distingue duas possibilidades: as que contribuem para melhorar a vida humana e as que produzem espanto e maravilhamento. Curiosamente, a maioria das aplicações propostas e implementadas por ele eram do segundo tipo.

Ptolomeu
(90 – 168)

- Último grande astrônomo grego, seu livro *Tratado Matemático*, mais conhecido pelo nome árabe *Almagesto*, constitui a síntese da astronomia geocêntrica grega.
- No Almagesto, Ptolomeu faz uso extensivo dos epiciclos e ecêntricos e introduz o chamado *equante*, mais um recurso inventado para *salvar os fenômenos*.
- O propósito de Ptolomeu no Almagesto não era fornecer um modelo *físico* para os movimentos dos corpos celestes e suas causas, mas um modelo matemático que desse conta dos movimentos observados.
- Em outro livro, *As Hipóteses dos Planetas*, Ptolomeu tentou construir um modelo físico em que os planetas estariam presos a faixas esféricas, mas para explicar a *causa* dos movimentos ele teve que supor que cada planeta possui uma força vital.
- Ptolomeu também escreveu um livro sobre óptica em que estendeu a abordagem geométrica de Euclides e tratou de problemas de reflexão e refração.

O Equante e outras Técnicas usadas por Ptolomeu no Almagesto

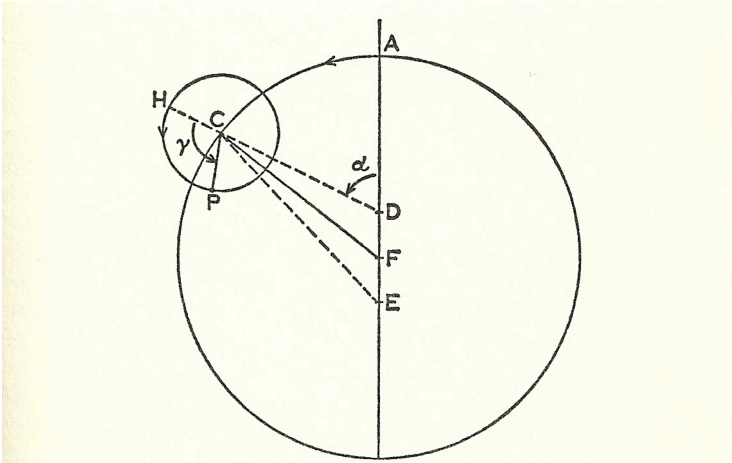


Fig. 29 Ptolemy's model for the planets other than Mercury (after Neugebauer). The planet P moves on the circumference of an epicycle centre C. C moves round an eccentric circle, centre F, but the movement is uniform not with respect to F, but with respect to D ('the equant')—the angle α increases uniformly. The equant is a point on the line from the earth (E) through the centre of the eccentric circle (F) and such that EF = FD.

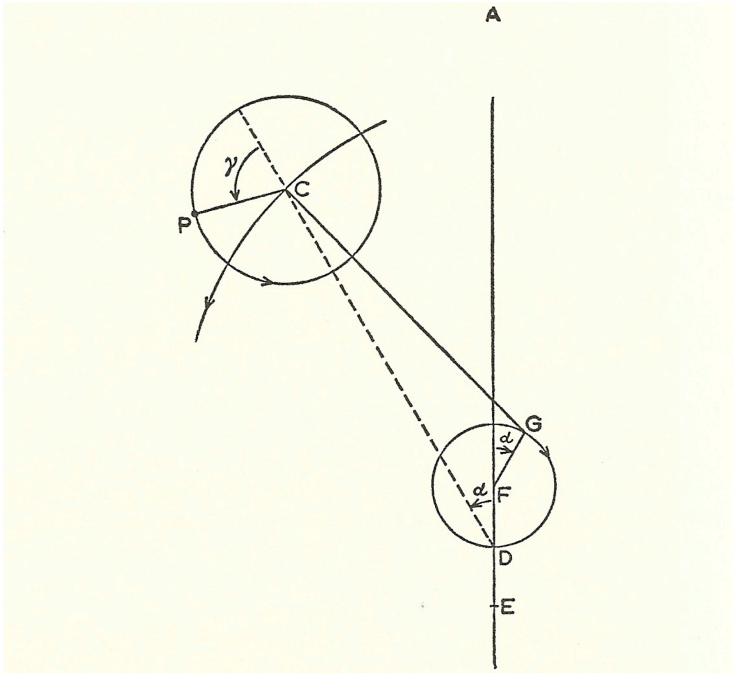
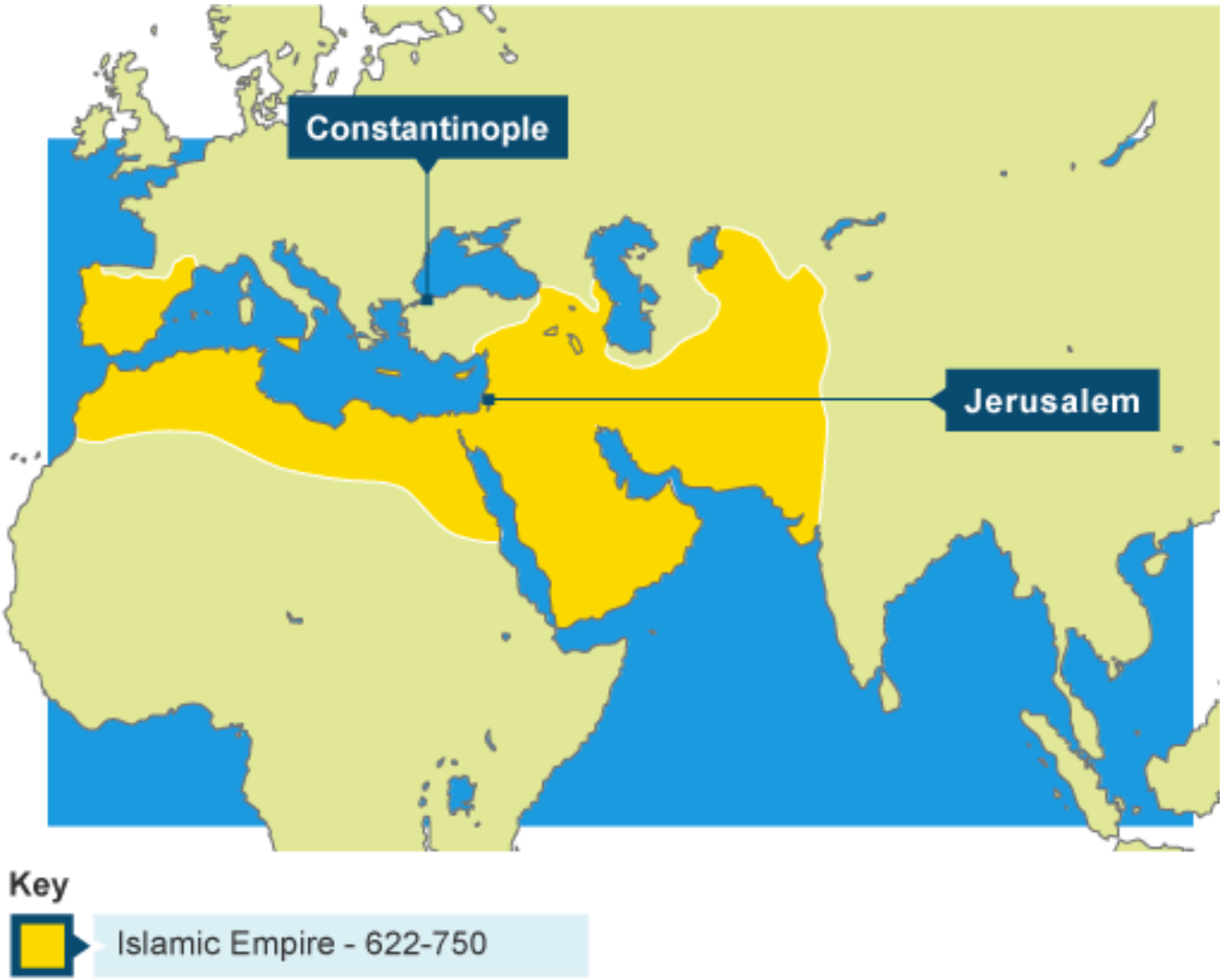


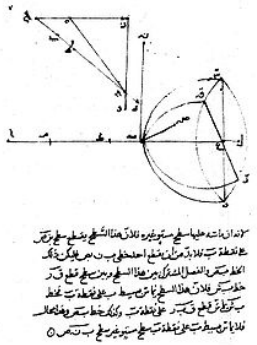
Fig. 30 Ptolemy's model for Mercury (after Neugebauer). The planet (P) moves on an epicycle, whose centre (C) moves round an eccentric circle with movable centre (G). G moves round the circumference of a circle, centre F, at the same speed as, but in the opposite sense to, the motion of C on the deferent circle measured with respect to D.

Lloyd, G.E.R., 1973

Islã na Idade Média

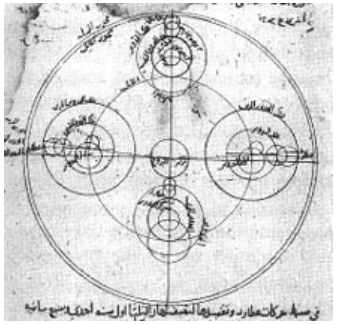


Islã



- Herdeiro da ciência e filosofia gregas.
- Preservação dos textos gregos através de traduções para o árabe.
- Contribuição principal não na criação de ciência original, mas na correção, extensão, articulação e aplicação da ciência grega a novos problemas.

Astronomia Islâmica



- al-Battānī (~858-929). Fez observações acuradas dos movimentos do Sol e da Lua e corrigiu os dados relativos aos seus movimentos no Almagesto de Ptolomeu. Descobriu que a posição do perigeu do Sol no céu muda com o tempo.
- Ibn al-Shatir (1304-1375). Conseguiu produzir modelos para os movimentos da Lua e dos planetas usando apenas epiciclos, eliminando a necessidade de usar o equante de Ptolomeu (veja a figura acima). Modelos similares foram usados por Copérnico duzentos anos depois.

Alhazen
(965-1040)

- Fez grande contribuição à óptica.
- Os gregos tinham duas teorias sobre a visão: a teoria da "intromissão" (defendida por Aristóteles e os atomistas), segundo a qual os objetos visíveis produzem alterações no meio transparente entre eles e o olho do observador que são transmitidas por esse meio até o olho; e a teoria da "extramissão" (apoiada por Euclides e Ptolomeu), segundo a qual o olho emite um cone de raios e a percepção ocorre quando esse cone é interceptado por um objeto opaco. A primeira teoria era "física" e não recebia tratamento matemático e a segunda era "matemática", sendo formulada em termos puramente geométricos.
- Alhazen descartou a teoria da extramissão com fortes argumentos: quando olhamos para objetos muito brilhantes nossos olhos se machucam (e machucados vêm de fora) e como seria possível o olho emitir raios que se espalham até as estrelas para que nós as vejamos?
- Ele desenvolveu uma teoria de intromissão usando os métodos geométricos de Euclides: considerou que cada ponto individual de um corpo emite raios em todas as direções e independentemente dos demais pontos. Essa "radiação em todas as direções" poderia criar confusão para o olho, mas Alhazen argumentou que apenas os raios que atingem o olho perpendicularmente causam sensações fortes; os demais são refratados e enfraquecidos.

Invenções e Avanços Tecnológicos dos antigos

- Os povos antigos foram responsáveis por muitas invenções, avanços e aperfeiçoamentos tecnológicos que influenciaram todo o desenvolvimento científico posterior e são usados até hoje.
- Para saber mais sobre isso, recomenda-se a série de documentários da BBC "What the Ancients did For Us", disponível no YouTube (infelizmente sem legendas em português):
  - https://www.youtube.com/watch?v=J1btMSGeZfA (islâmicos);
  - https://www.youtube.com/watch?v=YHKELxJBqyc (chineses);
  - https://www.youtube.com/watch?v=lI4gNKdBXSg (indianos);
  - https://www.youtube.com/watch?v=dUryiJizYo4 (mesopotâmicos);
  - https://www.youtube.com/watch?v=tPb5jhJAisI (egípcios);
  - https://www.youtube.com/watch?v=fjtFgSZ2too (gregos);
  - https://www.youtube.com/watch?v=awb0dFJZFuc (romanos);
  - https://www.youtube.com/watch?v=vupvaPiitrE (astecas, maias e incas).

Europa na Idade Média

O triunfo do cristianismo

- Expansão vagarosa (comparada com a do Islã):
  - 40-60: Trabalho de proselitismo de Paulo divulgando o cristianismo entre os gentios
  - 313: Édito de Milão (Constantino): conferiu ao cristianismo igualdade legal com as demais religiões no Império Romano
  - 392: Édito de Teodósio: declarou o cristianismo como a única religião oficial do estado romano
- Cristianismo primitivo: o mundo é mau e irá acabar um dia; os humanos são pecadores por natureza (por causa da queda) e só atingirão a redenção e a paz eterna se pararem de se preocupar com as coisas terrenas e se voltarem para o reino espiritual
- Influência de Platão e dos neoplatonistas: o mundo material é imperfeito e corruptível, portanto a ciência só pode nos dar conhecimento provável e não a verdade genuína

Cristianismo primitivo: desprezo pela ciência

- Gregório de Nissa (330-395): o cristianismo é a *Sublime Filosofia*, a única fonte para se atingir a verdade
- Teodoreto (393-486): a ciência é como escrever na água
- São Basílio (329-379): *os sábios dos gregos escreveram muitos textos sobre a natureza, mas nenhum que tenha permanecido inalterado e firmemente estabelecido, pois uma ideia mais nova sempre vinha e descartava a anterior; em consequência, não precisamos refutar seus trabalhos, pois eles mesmos já o fizeram mutuamente*
- Santo Agostinho (354-430): na sua juventude estimulou o estudo da matemática e da natureza, mas na velhice se arrependeu e se retratou; as ciências teóricas e as artes mecânicas são inúteis para um cristão
- Esse desprezo levou à rejeição das teorias gregas sobre a Terra e o cosmos esféricos e à adoção da crença de que o universo tem a forma de um tabernáculo com o firmamento sendo o teto e a Terra sendo o chão; por cima do firmamento haveria água, como está no Gênesis.

A “era dos manuais”*

- Alguns romanos se interessavam pela cultura grega e isso levou à preparação de manuais resumindo o conteúdo dos textos dos filósofos, matemáticos e cientistas gregos sobre os diversos assuntos em que eles trabalharam. Muitos desses manuais eram traduções para o latim de manuais escritos em grego, ou sejam, eram reduções simplificadoras de textos que já eram reduções simplificadoras dos textos originais (como este próprio texto que você está lendo).
- Exemplo: *História Natural*, de Plínio, o velho (23/24 – 79). Tratado de 37 livros que, segundo Grant, era uma “admirável coleção de recorta-e-cola” de autores gregos, com escopo e detalhamento enormes (473 autores são citados). Há uma abundância de confusões, inconsistências e mal-entendidos no livro, e as piores partes são as dedicadas a explicar a ciência teórica grega, que Plínio pouco entendia.
- Plínio ao menos foi diligente e honesto ao citar as fontes de onde tirava as informações que pôs em seu texto, mas a maior parte dos outros autores de manuais abusava do plagiarismo. Trabalhos científicos e opiniões dos filósofos gregos eram citados nos manuais como se seus compiladores tivessem acesso direto aos textos originais, mas as citações são tão mal feitas que é evidente que eles não tinham e estavam apenas repetindo – e frequentemente distorcendo – o que compiladores anteriores repetiram e distorceram de seus antecessores.

*Qualquer semelhança com a era atual é mera coincidência

As sete artes liberais

- Nos séculos IV–VIII, autores enciclopedistas latinos produziram uma série de trabalhos em latim que tiveram influência até o século XIII. Esses trabalhos combinavam as duas principais tradições intelectuais dos séculos precedentes: a do neoplatonismo/cristianismo (padres da Igreja) e a dos escritores de manuais
- O princípio organizador dos enciclopedistas latinos para guiar seu trabalho de estruturação do conhecimento foi o das chamadas sete artes liberais:
  - *Trivium*: gramática, retórica e lógica
  - *Quadrivium*: aritmética, geometria, astronomia e música
- Apesar de a tradição das sete artes liberais remontar à Grécia antiga pagã, cuja cultura era considerada perigosa à fé, os padres da Igreja acabaram aceitando e assimilando essa estrutura e ela se tornou a base do currículo da educação medieval.

A “era das traduções”

- Nos sécs. X-XI surgiram escolas ligadas a “cidades-catedrais” por toda a Europa. Elas se transformaram em centros intelectuais que atraíram estudantes e mestres com renovado interesse em estudar matemática e a natureza
- Para estudar, eles praticamente só tinham acesso aos textos rudimentares dos enciclopedistas, mas sabiam da existência das obras dos filósofos gregos e muçulmanos escritas em grego ou árabe
- Com o início da reconquista da Península Ibérica pelos cristãos, principalmente após a reconquista de Toledo, os cristãos passaram a ter acesso aos livros dos autores gregos e muçulmanos. Acesso a esses livros também foi possível na Sicília, que tinha sido conquistada pelos muçulmanos e recuperada pelos cristãos
- Isso originou uma verdadeira febre de traduções nos sécs. XII-XIII: obras dos filósofos gregos e muçulmanos e de seus comentadores foram traduzidas diretamente do grego ou de suas traduções em árabe para o latim.
- Pela primeira vez desde a queda do Império Romano os europeus tinham acesso direto às obras e ao pensamento dos filósofos gregos, principalmente Aristóteles, e isso teve efeito revolucionário sobre a ciência e a cultura europeias

As universidades medievais

- O crescimento das cidades e da vida comercial na Europa do séc. XI levou ao aparecimento de associações de profissionais que praticavam a mesma atividade, por exemplo, advogados e artesãos
- Essas associações eram chamadas de *universitas*, significando que eram compostas por todos os praticantes autorizados da atividade
- Os mestres e estudantes das escolas ligadas a catedrais mudavam muito de uma cidade para outra; muitos eram estrangeiros nas cidades em que ensinavam e isso os levou a adotar o modelo das *universitas* para se organizar
- Com o tempo, as diferentes associações profissionais foram usando outras denominações (grêmios, guildas), mas as associações de mestres e estudantes preservaram o nome *universitas* e o estenderam para abranger as quatro faculdades tradicionais da época (artes, teologia, direito e medicina)
- As primeiras universidades foram as de Bolonha, Paris e Oxford, mas por volta de 1500 havia 70 universidades pela Europa
- As universidades recebiam tratamento especial da Igreja e autoridades seculares, que encorajavam seu crescimento. Elas tinham jurisdição sobre seus assuntos internos e autonomia para avaliar seus mestres e estudantes. Os membros das universidades, mesmo não sendo ordenados, tinham status clerical e isso lhes dava muitos privilégios e proteções legais

Estrutura das universidades medievais

- Os estudantes matriculados buscavam graus de bacharel ou mestre. O grau de mestre em artes era pré-requisito para os graus de bacharel em direito, medicina e teologia.
- Cada estudante matriculado se associava a um mestre, que lhe preparava um programa de estudos e o treinava para os exames, além de introduzi-lo na vida universitária
- O currículo de mestre em artes era constituído de lógica (incluindo gramática), das disciplinas do *quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música) e das chamadas "3 filosofias": natural, moral e metafísica (que eram fortemente baseadas nos livros de Aristóteles).
- Uma das formas de ensino era a exposição de um texto de um filósofo seguida pela de textos de seus comentadores intercalada com as opiniões do mestre. No século XIII essa forma evoluiu para uma em que os comentários foram substituídos por um debate sobre problemas específicos preparados pelo mestre, as *questões*.
- Em muitos casos, essas questões eram copiadas e tornadas públicas para discussão disseminada entre mestres e estudantes da universidade, as chamadas disputas escolásticas.

Exemplos de Questões

- Tirados do livro IV das *Questões sobre os Oito Livros da Física de Aristóteles*, de Alberto da Saxônia (~1316-1390), um famoso comentador escolástico da Universidade de Paris:

1. Se lugar é uma superfície.
2. Se lugar é imóvel.
3. Se o lugar natural ou próprio da Terra é na água ou dentro da superfície côncava da água.
4. Se a superfície côncava da Lua é o lugar natural do fogo.
5. Se a existência do vácuo é possível.
6. Se, no seu movimento para baixo, um corpo pesado simples tem resistência interna; e, igualmente, se, em seu movimento para cima, um corpo leve simples tem resistência interna.
7. Se um meio que oferece resistência é necessário para cada movimento de corpos pesados e leves.
8. Se, caso o vácuo exista, um corpo pesado pode se mover nele.
9. Se alguma coisa poderia se mover em um vácuo – caso um exista – com velocidade finita ou movimento local ou movimento de alteração
10. Se a condensação e a rarefação são possíveis.

Personagens importantes da física medieval (procure informações sobre eles na internet):

- João Filopono (em latim, Joannes Philoponus; c. 490 – c. 570)
- Avempace (ibn Bajjah; c. 1080 – 1138)
- Averróis (ibn Rushd; 1126 – 1198)
- Robert Grosseteste (1168 – 1253)
- Roger Bacon (1214 – 1294)
- Alberto Magno (1193/1206 – 1280)
- Tomás de Aquino (1225 – 1274)
- Duns Scotus (c. 1266 – 1308)
- Guilherme de Ockham (1285 – 1347)
- Thomas Bradwardine (c. 1290 – 1349)
- Calculadores de Merton (Heytesbury, Dumbleton, Swineshead; séc. XIV)
- Jean Buridan (1300 – 1358)
- Alberto da Saxônia (1316 – 1390)
- Nicole Oresme (c. 1323 – 1382)

Referências

- Kirk, G.S. e Raven, J. E., Os Filósofos Pré-Socráticos, 2ª Edição, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.
- Lloyd, GER, *Early Greek Science: Thales to Aristotle*. New York: WW Norton, 1970.
- Lloyd, G.E.R., *Greek Science After Aristotle*. New York: W.W. Norton & Co., 1973.
- Lindberg, D.C., *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 B.C. to A.D. 1450*. University of Chicago Press, Chicago, IL, EUA, 1992.
- Barbour, J. B., *The Discovery of Dynamics*, Oxford University Press, 2001.
- Grant, E., *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional, and Intellectual Contexts*. Cambridge University Press, 1996.