

Nascimentos da Física

José Maria Filardo Bassalo

*Departamento de Física, Universidade Federal do Pará
66075-900, Belém, PA, Brasil*

Trabalho recebido em 20 de setembro de 1994

Resumo

Com este trabalho, iniciamos uma nova saga. Desta vez, a exemplo do escritor uruguaio Eduardo Hughes Galeano (1940-) em sua fantástica trilogia *Memória do Fogo (Nascimentos, 1986; As Caras e as Máscaras, 1985; O Século do Vento, 1988* - Editora Nova Fronteira), apresentaremos em forma de verbetes, e na ordem cronológica (seguindo a divisão clássica das idades históricas), os principais fatos (**nascimentos**) referentes aos conceitos físicos, os quais serão apresentados por temas separados. Para isso, basicamente, usaremos os dados que coletamos nos quatro tomos de nossas *Crônicas da Física (EUFPA: 1987, 1990, 1992, 1994)* e nas referências aí indicadas.

Abstract

With this work, we begin a new saga. This time, as the Uruguayan writer Eduardo Hughes Galeano (1940-) made in his fantastic trilogy *Memória do Fogo (Nascimentos, 1986; As Caras e as Máscaras, 1985; O Século do vento, 1988* - Editora Nova Fronteira), we present its entries, and in chronological order (following the classical division of historical ages), the main events (**births**) concerned to the physical concepts, which will be presented in separated subjects. For that, basically, we use the data that we gather in our four books *Crônicas da Física (EUFPA: 1987, 1990, 1992, 1994)* and in the references therein.

IDADE ANTIGA: ASTRONOMIA

Os Primeiros Milênios a. C.

Por volta de 3000 a.C., os egípcios estabeleceram o ano solar de 365 dias.

Por essa mesma época, os chineses descobriram o **Saros**: intervalo de 18 anos, 11 dias e 8 horas, após o qual a Terra, o Sol e a Lua retornam, aproximadamente, às mesmas posições relativas. Nesse intervalo, ocorrem cerca de 43 eclipses solares e 28 lunares.

Em 2608 a.C., o imperador chinês Houng-Ti construiu um observatório para elaborar um calendário.

Por volta de 2377 a.C., sob o império do chinês Yao, o zodíaco (*Kyklos zokiakos*, do grego que significa *círculo de animais*) foi dividido em 28 constelações.

Durante a Dinastia de Hammurabi (1800-1400),

os astrônomos babilônios realizaram observações das transições de Vênus através do Sol, das fases da Lua e organizaram um calendário lunisolar.

Sob o Império dos Kassites e dos Assírios (1400-900), organizou-se uma lista de constelações helíacas (que acompanham o Sol), assim como foram elaboradas as primeiras regras aritméticas para o cálculo da duração do dia e da noite.

Século 6 a. C.

O filósofo grego Tales de Mileto (624-546) acreditava que a Terra era plana e que, por sua vez, flutuava no ar que, para ele, era considerada como substância primordial do Universo.

O filósofo grego Anaximandro de Mileto (610-547) concebeu os planetas como sendo rodas de fogo girando em torno da Terra, considerada como um cilindro que repousava sobre um eixo orientado no sentido leste-oeste e cuja altura correspondia a um terço de seu diâmetro.

O filósofo grego Pitágoras de Samos (c.582-c.497), admitiu a esfericidade da Terra, assim como parece haver sido o primeiro a reconhecer que a estrela matutina (estrela Dalva) e a estrela vespertina (Vésper ou Hésper) eram o mesmo planeta Vênus. Observou ainda que o Sol, a Lua e os planetas não possuíam o mesmo movimento uniforme das estrelas, e que a órbita da Lua não se situava no plano do equador celeste. Havendo descoberto a relação harmoniosa entre os comprimentos das cordas dos instrumentos musicais e as tensões aplicadas nelas (relação essa que produziam combinações harmônicas de sons: 2/1, corresponde a oitava, 3/2, a quinta, e 4/3, a quarta), Pitágoras afirmou que as distâncias dos planetas ao Sol devem ser harmoniosas, isto é, devem estar na mesma razão que os comprimentos das cordas (sob tensões iguais) que produzem as sete notas básicas da Lira, que era o instrumento musical nacional da Grécia.

O filósofo grego Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500), discípulo de Anaximandro, concebeu os astros celestes como corpos fixos a esferas de revolução, bem como acreditava que o Sol era um corpo plano e parece haver feito, pela primeira vez, a distinção entre *planeta* e *estrela*.

Século 5 a.C.

O astrônomo babilônio Nabu-Rimani (floresceu cerca (f.c.) de 491) elaborou uma tabela de efemérides contendo o registro das posições da Lua, do Sol e dos planetas em dado momento. Ele também calculou o intervalo do mês sinódico (de Lua Nova a Lua Nova) como sendo de 29,530614 dias (valor real: 29,530596) e do ano solar em 365 dias, 6 horas, 15 minutos e 41 segundos.

O filósofo grego Philolaus de Tarento (ou de Crotona) (c.480- ?) elaborou a hipótese da existência de um *fogo central* representando o Centro de seu Universo esférico. Esse **fogo d'Hestia** (Hestia era a Deusa da lareira sagrada, nas casas e edifícios públicos) era invisível, pois estava sempre encoberto pelo Sol. Além do mais, ele era envolvido por dez esferas concêntricas representando, respectivamente: Terra, Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, anti-Terra (**antichthon**) (planeta sempre oculto para os terráqueos e situado do outro lado do Sol) e estrelas. Para Philolaus, o Sol (visível) era um reflexo do fogo central (invisível), e cada uma dessas esferas girava de oeste para leste, completando uma revolução no período correspondente ao do astro que a mesma representava.

O filósofo grego Hiketas de Siracusa modificou o sistema de Philolaus postulando um movimento de rotação diurna da Terra em torno de seu eixo.

Século 4 a. C.

O filósofo grego Ephantus de Siracusa (f.c.399) substituiu pela Terra, o fogo central defendido por Philolaus.

O astrônomo babilônio Kidinnu (f.c.397) recalculou o mês sinódico e o mês solar, bem como descobriu a *precessão dos equinócios*, decorrente de uma ligeira rotação do eixo da Terra. O **equinócio** representa o ponto de intersecção da eclíptica (trajetória aparente do Sol entre as estrelas) com o equador celeste (círculo na esfera celeste que coincide com o equador terrestre), no qual os dias e as noites tem a mesma duração. Há dois equinócios, o de **outono**, que ocorre cerca de 23 de setembro, e o da **primavera**, que ocorre cerca de 21 de março. No movimento aparente do Sol, há dois outros pontos notáveis: os **solstícios**, que são pontos nos quais o Sol se encontra mais afastado do equador celeste e, por isso, os dias são mais longos. O **solstício de verão** acontece cerca de 21 de dezembro, e o **solstício de inverno** ocorre cerca de 21 de junho. (As datas desses pontos notáveis da trajetória aparente do Sol, são relativas ao hemisfério norte.)

O filósofo grego Platão de Atenas (c.427-c.347) em seus famosos diálogos *Timaeus*, *Phaedo*, a *República* e *Epinomis*, considerava que a Terra imóvel, era envolvida por quatro capas esféricas. A primeira, de espessura igual a dois (2) raios terrestres, era composta do elemento água. A segunda era composta do elemento ar, com a espessura de cinco (5) raios terrestres, e constituindo a atmosfera. Em seguida, há uma camada do elemento fogo de dez (10) raios terrestres, tendo em sua parte superior a quarta capa esférica na qual se encontravam as estrelas. Os sete (7) planetas então conhecidos (Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) evoluíam entre a atmosfera e as estrelas.

O astrônomo e matemático grego Eudoxo de Cnido (c.408-c.355), discípulo de Platão, formulou um modelo planetário segundo o qual, basicamente, o movimento dos astros no Universo era consequência de um conjunto de 27 esferas homocêntricas à Terra, seguindo o esquema: 4 para cada um dos planetas (Mercúrio (Me), Vênus (V), Marte (Ma), Júpiter (J) e Saturno (S)), 3 para o Sol, 3 para a Lua, e 1 para as estrelas fixas. Essas esferas eram assim distribuídas: o planeta se encontra fixo no equador de uma esfera que gira em torno da Terra. Por sua vez, os pólos dessa esfera são deslocados por uma segunda esfera que gira em torno de um eixo normal ao plano da eclíptica. Uma terceira esfera exterior às duas antecedentes dá o movimento do planeta em relação ao céu das estrelas fixas. Por fim, uma quarta esfera era necessária (para o caso dos planetas propriamente ditos (Me, V, Ma, J, S)) para explicar o seu movimento retrógrado, isto é, o movimento no qual o planeta, no céu das estrelas fixas, se move num determinado sentido até um "ponto estacionário"; depois, volta no sentido oposto até um outro "ponto estacionário", retomando então ao primeiro sentido, e assim por diante, formando laços ou cúspides.

O astrônomo Hicetas (? -338) parece haver sido o primeiro a falar na rotação axial da Terra.

O astrônomo grego Calipo de Cízico (c.370-c.300), aluno de Eudoxo, aperfeiçoou o modelo de seu mestre,

adicionando mais 8 esferas, com o objetivo de explicar os complicados movimentos de Mercúrio e de Vênus, já que estes tinham um afastamento limitado em relação ao Sol: $\sim 24^\circ$ e $\sim 48^\circ$, respectivamente.

O filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) aperfeiçoou ainda mais o modelo de Calipo-Eudoxo, acrescentando-lhe outras esferas homocêntricas, perfazendo um total de 55. Aristóteles admitiu ainda que além da esfera das estrelas fixas, existia o **Primum Mobile (Primeiro Móvel)**, acionado por Deus, o motor primordial e imóvel, e que além dele não havia nem movimento, nem tempo e nem lugar. Contudo, as esferas consideradas por Aristóteles destinavam-se a impedir que o movimento de um dado planeta se transmitisse ao seu vizinho, já que, ao que parece, as considerava como reais ao contrário de Eudoxo que as considerava apenas como auxiliar de seus cálculos. Aristóteles era ainda partidário da esfericidade da Terra bem como da teoria platônica sobre as quatro capas envolventes de nosso planeta. Essas idéias foram defendidas no Livro II de seu *De Caelo (Dos Céus)*.

Para explicar as anomalias dos movimentos de Mercúrio e Vênus, o astrônomo grego Heráclides de Pontos (c.388-c.310) formulou um modelo geoheliocêntrico segundo o qual esses dois planetas giravam em torno do Sol e este, juntamente com os demais planetas (incluindo a Lua) giravam em torno de uma Terra também girante, porém em torno de seu eixo, de oeste para leste, e diariamente.

Século 3 a. C.

O astrônomo grego Aristarco de Samos (c.320-c.250), por volta de 260 a.C., formulou pela primeira vez um modelo heliocêntrico. No entanto, para defender seu modelo, teve de fazer duas suposições. A primeira delas, era no sentido de justificar por que as estrelas pareciam fixas, isto é, por que suas posições aparentes não mudavam em consequência do movimento da Terra em torno do Sol. Essa imobilidade, afirmou Aristarco, decorria da imensa distância em que se encontravam as estrelas em relação a Terra. A sua segunda su-

posição, não era original, já que havia sido considerada por Heráclides de Pontos, qual seja, a rotação da Terra em torno de seu eixo. Em seus estudos sobre Astronomia, Aristarco preocupou-se também em determinar as distâncias Terra-Sol e Terra-Lua, bem como a relação entre os diâmetros desses três astros; tais medidas foram apresentadas em seu livro *Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua*. Para fazer essas medidas, Aristarco usou os conhecimentos geométricos de Tales de Mileto e do matemático grego Euclides de Alexandria (c.325- c.285), pois, ao observar que quando a metade da Lua está iluminada pelo Sol, este, a Terra e seu satélite Lua, formam um triângulo retângulo, sendo a hipotenusa a distância Terra-Sol. Assim, medindo a distância angular entre a Lua e o Sol, tendo a Terra como vértice, Aristarco encontrou 87° (valor atual: $89^\circ 51'$). De posse desse resultado e por meio de uma construção geométrica simples, determinou ser de $1/20$ a relação entre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol. (A relação correta é de $1/400$.) Por outro lado, das observações dos eclipses da Lua e lançando mão, também, de construções geométricas simples, Aristarco concluiu que as relações entre os diâmetros da Lua e da Terra e da Terra e do Sol, valiam, respectivamente: $\frac{1}{3}$ e $\frac{1}{2}$. (Os valores corretos, são: $1/3,67$ e $1/10,9$.)

O matemático grego Arquimedes de Siracusa (c.287-212), no prefácio de seu livro *A Ampulheta*, referiu-se ao modelo heliocêntrico.

O astrônomo Timocharis, por volta de 283, parece haver sido o primeiro a preparar um mapa celeste.

O astrônomo grego Eratóstenes de Cirena (c.276-c.196), por volta de 240 a.C., foi o primeiro a calcular o diâmetro da Terra, usando o fato de que no solstício de verão, na cidade de Siene, atual Assuã, o Sol fica a pino ao meio-dia. No entanto, nessa mesma hora em Alexandria, a sombra de uma torre era projetada de um ângulo de $\sim 7^\circ$. Assim, consultando os mapas oficiais, verificou que a distância entre as duas cidades egípcias era de 5.000 estádios (~ 789 km). Desse modo, foi fácil para Eratóstenes calcular a circunferência da

Terra como sendo 39.425 km. (Valor correto: 40.075 km.) Esse astrônomo calculou ainda a obliquidade da eclíptica, desenhou um mapa celeste com cerca de 675 estrelas, e teve a idéia do ano bissexto, com o intuito de ajustar o calendário egípcio às estações.

O matemático grego Apolônio de Perga (c.261-c.190) explicou o movimento dos planetas no céu das estrelas fixas usando para isso o sistema **epiciclo-deferente**, sistema em que o centro de um círculo menor (**epiciclo**) se desloca ao longo de um círculo maior (**deferente**). O epiciclo representa o movimento circular do planeta e o deferente é um círculo em cujo centro situa-se o astro em torno do qual orbita o planeta.

Séculos 2 e 1 a. C.

O astrônomo babilônio Seleuco (c.190- ?) foi um defensor do modelo heliocêntrico.

O filósofo grego Possidônio de Apaméia (c.135-c.51) calculou a circunferência da Terra usando, para isso, a posição da estrela Canopo em lugar do Sol. Contudo, talvez por não levar em consideração o deslocamento da posição da estrela devido à refração atmosférica, encontrou o valor de ~ 30.000 km.

O astrônomo grego Hiparco de Nicéia (c.190-c.120) usou o conceito de **excentricidade** para explicar as variações das velocidades dos planetas em torno da Terra. Por exemplo, admitiu que o círculo descrito pelo Sol (considerado como um planeta) é excêntrico em relação ao centro da Terra, em torno do qual gira. Com essa hipótese, demonstrou que essa excentricidade é equivalente ao sistema epiciclo-deferente utilizado por Apolônio, porém às avessas. Hiparco foi também um astrônomo experimental, já que preparou um catálogo de estrelas, a partir de 134 a.C., ano em que observou uma nova estrela na constelação de Escorpião. Ao concluí-lo, em 129 a.C., havia registrado cerca de 1080 estrelas, adotando a classificação por grandezas, indo até a sexta. Nesse trabalho experimental, lançou mão dos instrumentos usuais de seu tempo (esfera armilar ou astrolábio esférico, mostrador circular e dioptra), tendo ainda acrescentado a esse conjunto de aparelhos,

o **astrolábio plano**. De posse desse mapa celeste, re-descobriu a **precessão dos equinócios**, ocasião em que calculou o valor desse lento movimento circular dos equinócios, como sendo de 1° por século (valor atual: $1,38^\circ$), correspondendo a uma volta completa em cerca de 26.000 anos. Usando o método geométrico do eclipse lunar de Aristarco, Hiparco determinou as distâncias entre a Terra, o Sol e a Lua, bem como mediu seus tamanhos. Com efeito, observando esse eclipse, mediu o tempo de entrada e saída dos cones de penumbra e de sombra da Terra, usando uma tabela de cordas (ligando dois pontos localizados em um círculo de raio unitário) que havia construído, e a divisão do círculo de 360° (com as sub-divisões do grau (o) em 60 minutos (') e estes em 60 segundos (")), como haviam considerado os babilônios), Hiparco encontrou os seguintes valores em função do raio terrestre R_T : distância Terra-Sol $\sim 2\ 500 R_T$; distância Terra-Lua $\sim 60 R_T$; raio do Sol $\sim 12 R_T$ e raio da Lua $\sim 0,29 R_T$. Hiparco utilizou ainda suas observações sobre os eclipses lunares e solares para calcular as latitudes e as longitudes geográficas. Enquanto a latitude de um determinado lugar era calculada medindo a relação entre o dia mais longo e o dia mais curto que acontecia nesse lugar, a longitude entre dois locais era determinada comparando-se os tempos ocorridos entre o mesmo eclipse que ocorria naqueles locais. Como esse método dependia da ocorrência de eclipses, Hiparco estabeleceu uma lista de futuros eclipses por um período de 600 anos. A observação dos eclipses lunares levou Hiparco a ser considerado o primeiro a medir a paralaxe de um astro, já que em 150 a.C., mediu a paralaxe da Lua: $\sim 58'$ (valor atual: $\sim 57'2,6''$). Por fim, suas observações dos eclipses solares, levaram-no a medir o ano solar com ótima precisão: 365,2467 dias (valor atual: 365,2422 dias).

O astrônomo grego Sosígenes de Alexandria (f.c.90) aceitou a hipótese de que Mercúrio girava em torno do Sol, bem como formalizou a idéia do ano bissexto (que havia sido considerado por Eratóstenes); por ocasião em que o Imperador romano Júlio César (100-44) criou

o calendário conhecido como **Juliano**.

Os Primeiros Séculos A. D.

O matemático e inventor grego Heron de Alexandria (c.20- ?) descreveu, em seu livro *Dioptra*, um método gráfico para determinar a distância entre Alexandria e Roma, usando para tal a diferença de tempo ocorrida a um eclipse lunar observado nas duas cidades.

O astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) retomou e sistematizou o sistema epiciclo-deferente-excêntrico de Apolônio-Hiparco em seu célebre *Hê Mathêmatikê Syntaxis (A Compilação Matemática)*, para poder explicar o movimento dos planetas e suas irregularidades (movimento retrógrado e não circularidade de suas órbitas). Essa obra é composta de 13 livros, e foi traduzida por volta do século 9 de nossa era, pelos árabes, recebendo então o nome de *Almagest*, que é uma corruptela do nome hispano-árabe **Al-Majisti (O Grande Tratado)**. Por outro lado, para explicar por que os planetas Mercúrio e Vênus aparecem sempre juntos ao Sol, Ptolomeu admitiu que seus deferentes tinham o mesmo período do deferente do Sol. Por fim, para explicar as variações nas velocidades dos planetas, criou o artifício do **equante**; este era um ponto que não correspondia nem ao centro da Terra, nem ao centro do deferente e, de tal modo, que um objeto colocado nele veria o centro do epiciclo se deslocar com velocidade angular uniforme. Nessa obra, Ptolomeu incluiu um catálogo de estrelas baseado nos trabalhos de Hiparco; listou 48 constelações cujos nomes dados as mesmas prevalecem até hoje; descreveu e aperfeiçoou os instrumentos usados pelos astrônomos, tendo, inclusive, no livro 5 de seu *Almagest*, demonstrado como se constrói e usa um astrolábio; fez, também, uma descrição matemática detalhada dos movimentos do Sol e da Lua, o que lhe permitiu calcular com maior precisão as datas dos futuros eclipses solares e lunares.

IDADE ANTIGA: ÓPTICA

Os Primeiros Séculos a. C.

O poeta grego Homero (f.c. século 9 ou 8) acreditava que a luz provinha dos olhos e que, portanto, a visão ocorria quando os raios luminosos (**raios (partículas) visuais**) partindo dos olhos atingem o objeto que está sendo observado. Em vista disso, ele pode ser considerado o precursor da **teoria corpuscular da luz**.

O filósofo grego Pitágoras de Samos (c.582-c.497) era partidário da hipótese de que são os olhos que recebem os raios luminosos emitidos pelos objetos luminosos, tais como: astros, chamas, pirilampos etc., ou resvalados por objetos não-luminosos. (Há uma controvérsia histórica em relação a essa hipótese, já que existem historiadores da ciência que afirmam que Pitágoras defendia a hipótese de Homero.)

O filósofo grego Empédocles de Akragas (atual Agrigento) (c.490- c.430) defendia a hipótese de que a velocidade da luz era finita, bem como era partidário da teoria corpuscular da luz, pois considerava o fluxo luminoso como o fluxo contínuo de um rio.

O filósofo grego Platão de Atenas (c.427-c.347) formulou a hipótese de que a visão de um objeto era devido a três jatos de partículas: um partindo dos olhos, um segundo proveniente do objeto percebido e um terceiro vindo das fontes iluminadoras (Sol, lâmpada etc.) Assim, um feixe de raios luminosos parte dos olhos até o objeto observado, lá se combina com os raios emitidos pela fonte iluminadora, retornando então aos olhos dando-lhe a sensação de visão. Ainda para Platão, a luz era considerada um **fogo divino**, assim como admitia a idéia de que a mesma tinha uma forma tetraédrica.

O filósofo e matemático grego Archytas de Tarentum (f.c.350) era também partidário da hipótese corpuscular dos raios visuais.

O filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) defendia a hipótese de que a luz era devido a uma **atividade** em um determinado meio, podendo, dessa forma, tal idéia ser considerada como precursora da **teoria ondulatória da luz**. Defendia, também, a hipótese de

que a velocidade da luz era infinita, bem como considerava que as cores mais agradáveis deveria obedecer às mesmas relações numéricas pitagóricas para determinados sons. (Pitágoras descobriu que certas relações entre os comprimentos das cordas dos instrumentos musicais, produziam combinações harmônicas de sons.) Aristóteles parece haver sido um dos primeiros a tentar uma explicação para o arco-iris, ao afirmar que o mesmo era devido a gotículas de água contidas na atmosfera que refletiam a luz solar e causavam a variação da cor. Observou ainda que a reflexão da luz do Sol pelas nuvens ocorria para um ângulo determinado, reflexão essa que dava origem a um cone circular de **raios de arco-iris**. Além de explicar corretamente a forma circular do arco-iris, Aristóteles percebeu que sua localização no espaço dependia do ângulo entre a direção dos raios solares incidentes e a dos raios refletidos pelas nuvens até os olhos do observador. Parece que esse filósofo estagirita teve também o conhecimento da **lei da reflexão da luz**: "O ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de reflexão (r)".

O filósofo grego Epicuro de Samos (341-270) apoiava a idéia dos raios visuais e, portanto, da teoria corpuscular da luz.

O matemático grego Euclides de Alexandria (c.325-c.285) escreveu dois tratados para descrever os fenômenos relacionados com a luz. No tratado denominado *Óptica*, estudou basicamente a visão de objetos de diversas formas, através de algumas definições e de 58 proposições, tendo como ponto de partida a hipótese platônica sobre a visão. No tratado denominado *Catóptrica*, Euclides descreveu o comportamento de raios luminosos refletidos por espelhos planos, côncavos e convexos, usando algumas definições e 31 proposições. Ainda nesse tratado, ao admitir a trajetória retilínea para o raio luminoso, e com seus conhecimentos de Geometria (que havia apresentado em seu famoso *Elementos de Geometria*), Euclides demonstrou corretamente a **lei da reflexão da luz**, demonstrando ainda que era válida quer para espelhos planos,

quer para espelhos esféricos. É também na *Catóptrica* que esse grande geômetra falou na possibilidade de tornar visível a um observador, um anel colocado em um vaso transparente, bastando para tal derramar água no mesmo.

O matemático grego Arquimedes de Siracusa (c.287-212) em seu livro *Catóptrica*, estudou os espelhos que apresentavam a propriedade de concentrar, em determinados pontos, raios luminosos paralelos incidentes, como ocorre com os espelhos esféricos e os parabolóides de revolução, espelhos esses denominados de **incandescentes** ou **ustórios**. (Parece que Arquimedes construiu um espelho (de cobre) em forma de parabolóide de revolução, e o teria usado para incendiar os navios romanos que invadiram Siracusa, em 214 a. C.; invasão essa comandada pelo general e consul romano Marcus Claudius Marcellus (c.268-c.208), por ocasião da **Segunda Guerra Púnica**, ocorrida entre 218 e 201.)

Os filósofos chineses da Dinastia Qin (221-207) eram partidários da hipótese aristotélica (ondulatória) sobre a natureza da luz.

O matemático grego Apolônio de Perga (c.261-c.190) estudou espelhos incandescentes, assim como observou que os espelhos elipsoidais apresentavam a propriedade de que todos os raios luminosos emanados de um de seus focos, refletem-se no foco conjugado. (É oportuno lembrar que Apolônio foi um dos primeiros a estudar de maneira sistemática, as secções cônicas: elipse, parábola e hipérbole.)

O filósofo grego Alexandre de Afrodisias, por volta de 200, descreveu pela primeira vez a existência de uma região escura entre os dois arco-íris, isto é, o primário e o secundário, sendo que este tem a ordem de suas cores invertida em relação a do primário. Essa região ficou conhecida como **região escura de Alexandre**.

O matemático grego Diocles (f.c. final do século 2) publicou um livro no qual há um estudo sobre os espelhos incandescentes.

O filósofo grego Gemino de Rodes, por volta de 70, acrescentou à divisão clássica dos gregos sobre o estudo

dos fenômenos luminosos (**Óptica** - estudo da teoria geométrica da percepção visual do espaço e dos objetos nele situados; **Catóptrica** - estudo da teoria dos espelhos e alguns fenômenos relacionados a refração) -, a **Cenografia** que era a aplicação à Pintura, à Escultura e à Arquitetura, das regras da Perspectiva.

Os Primeiros Séculos A. D.

O estadista e filósofo romano Lucius Annaeus Sêneca (4 a.C.-65 A.D.) parece haver sido o primeiro a observar a decomposição espectral da luz solar (dispersão) nas margens de vidros. Chegou ainda a observar que uma esfera de vidro cheia d'água poderia ser usada como vidro de aumento.

O matemático e inventor grego Heron de Alexandria (c.20- ?) em seu livro intitulado *Catóptrica*, explicou a propagação retilínea da luz e formulou, com base na lei da reflexão da luz estudada por Aristóteles e Euclides, o seguinte princípio: - "é mínimo o trajeto descrito por um raio luminoso". Ainda nesse livro, Heron tratou dos espelhos côncavos e convexos, bem como de sua associação. Parece ser ainda dele a observação de que se pode obter várias imagens de um objeto colocado entre dois espelhos planos formando um determinado ângulo, observação essa básica do princípio do **caleidoscópio**. Em seu livro *Dioptra*, Heron descreveu um instrumento de Agrimensura que era usado com os mesmos propósitos do moderno teodolito. Com relação ao fenômeno da visão, esse grande inventor grego era partidário da teoria platônica.

O astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) em seu livro *Óptica*, descreveu a refração da luz solar e das estrelas ao atravessar a atmosfera terrestre. Nesse livro, pela primeira vez, é feita uma tentativa de estudar analiticamente o fenômeno da refração da luz, através de uma tabela na qual são registrados os ângulos de incidência e de refração de raios luminosos que atravessam superfícies de separação entre ar-água, ar-vidro e água-vidro, ângulos esses medidos por um aparelho bem simples inventado pelo próprio Ptolomeu. Ao examinar essa tabela, observou que quando esses ângulos

eram pequenos, a relação entre os mesmos permanece constante. No entanto, para ângulos maiores, formulou uma lei do tipo: $r = ai + bi^2$, onde i e r são respectivamente, os ângulos de incidência e de refração, e a e b , são constantes. (Para chegar a essa lei, usou o conceito pitagórico para números poligonais, cujas segundas diferenças obedecem a uma lei quadrática.) Ainda em sua *Óptica*, Ptolomeu tratou de espelhos, defendeu a visão binocular e a idéia platônica sobre a natureza dessa mesma visão.

O matemático grego Pappus de Alexandria (c.260-?) fez um estudo dos espelhos parabólicos.

IDADE ANTIGA: MECÂNICA

Os Primeiros Séculos a. C.

O filósofo grego Pitágoras de Samos (c.582-c.497) considerava que o movimento era explicado sob dois pontos de vista completamente opostos: **contínuo**, para os que consideravam ser o espaço e o tempo como infinitamente divisíveis; e **discreto** (constituído de uma sucessão de diminutos deslocamentos), para os que admitiam ser o espaço e o tempo compostos de pequenos intervalos indivisíveis.

O filósofo grego Xénofanes de Cólofon (c.580-?) era partidário das idéias de Pitágoras sobre o movimento.

O filósofo grego Parmênides de Eléia (c.515-f.c.450) defendia a idéia de que o ser é imóvel, eterno e único e, portanto, o movimento é ininteligível.

O filósofo grego Zenão de Eléia (c.500-f.c.450) formulou quatro paradoxos (**dicotomia**, **Aquiles e a tartaruga**, **flecha**, **estádio**), para demonstrar que o movimento não existia. No da **dicotomia**, afirmou que antes de um corredor vencer uma certa distância deverá vencer a metade da mesma; antes de vencer esta metade, deverá vencer a metade da metade; e assim sucessivamente. Portanto, para o corredor realizar a corrida deverá percorrer um número infinito de contatos em um tempo finito o que, para Zenão, era impossível. O paradoxo de **Aquiles e a tartaruga** - o mais famoso deles

- é análogo ao anterior, só que a subdivisão infinita do espaço é progressiva ao invés de ser regressiva. Assim, mesmo sendo o herói da Guerra de Troia mais veloz que a tartaruga, se esta, contudo, numa corrida saísse na frente de Aquiles, este nunca a alcançaria pois, para atingi-la, deveria percorrer primeiro a distância inicial que o separa da tartaruga, depois teria de percorrer a distância vencida pela tartaruga, e assim por diante. No da **flecha**, Zenão raciocinou que uma flecha em movimento ocupa sempre um lugar igual a si própria; ora, se ela ocupa sempre um espaço igual ao seu tamanho, ela está sempre parada e, portanto, o seu movimento é uma ilusão. No do **estádio** ou dos **bastões em movimento**, Zenão considerou que se dois bastões (A,B) de iguais tamanhos se deslocarem igualmente (hoje, diríamos, com a mesma velocidade) em relação a um terceiro (C) mantido fixo, então o bastão A (ou B) parecerá se deslocar duas vezes mais rápido que o bastão B (ou A), respectivamente, num mesmo intervalo de tempo, o que não é possível, concluiu Zenão. Com estes dois últimos paradoxos, verifica-se que Zenão recusava a hipótese de ser o tempo composto de pequenos intervalos indivisíveis.

O filósofo grego Melisso de Samos (f.c.441) defendia a hipótese de Zenão sobre o movimento.

O filósofo grego Demócrito de Abdera (c.460-c.370) foi também um eleata, ou seja, partidário da Escola Eleata fundada por Zenão.

O filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) analisou os paradoxos de Zenão e, no livro intitulado *Física*, apresentou suas próprias idéias sobre o movimento, e o considerava como "o ato do que está em potência enquanto em potência". Com relação aos atributos (categorias) do ser que são afetados pelo movimento, distingue quatro espécies de movimento: o movimento segundo a **essência** do ser, é geração e corrupção; segundo a **qualidade**, é alteração; segundo a **quantidade**, é crescimento e decréscimo; segundo o **lugar**, o movimento de um corpo pode ser **natural** se ele se dirige para o seu lugar natural (por exemplo,

para o alto como o fogo e o ar, e para baixo, como a água e a terra); e **forçado** ou **violento**, se afastar-se de seu lugar natural (por exemplo, o caso de uma pedra lançada para o alto). Ainda para Aristóteles, existe um princípio **dinâmico** no movimento: - "Todo movido é movido por um motor". Desse modo, no movimento natural um corpo move-se devido sua apetência, isto é, segundo a sua natureza, que é um motor interior. Já um corpo sob um movimento forçado, o faz por intermédio de um motor que lhe é estranho e contíguo. Este é o caso do movimento de um corpo no ar, pois este, ao ser empurrado para os lados pelo corpo, o impulsiona em sua trajetória. Portanto, para Aristóteles, só há movimento forçado se houver ar, afirmação essa que levou ao célebre aforisma aristotélico: - "A Natureza tem horror ao vácuo". Usando esse princípio dinâmico, Aristóteles obteve os seguintes resultados: 1.- "Sempre que uma força ou potência é exercida sobre um móvel, a relação das distâncias percorridas é igual a relação dos tempos de percurso"; 2.- "A relação das forças exercidas sobre um móvel é igual à relação das distâncias percorridas num mesmo intervalo de tempo, desde que estas forças tenham uma intensidade que ultrapasse um certo limite abaixo do qual elas não podem agir"; 3.- "O movimento de um corpo através de um meio resistente, além de ser proporcional à força que o produziu é, também, inversamente proporcional à resistência do meio considerado". Em seus estudos sobre o movimento de corpos através da água, ar ou terra, considerou que os corpos se moviam diferentemente uns dos outros por "excesso de peso ou por leveza". Admitiu ainda Aristóteles que "um corpo pesado cairia mais rapidamente do que um leve", e que nessa queda "sua velocidade era proporcional ao seu peso". Ao estudar o equilíbrio da alavanca, Aristóteles afirmou que nessa situação, os pesos colocados em suas extremidades variam na razão inversa das velocidades com que essas extremidades se deslocam quando esse equilíbrio era rompido.

O filósofo grego Pirro de Élida (360-270) divulgou as teses de Aristóteles sobre o movimento.

O filósofo e matemático grego Archytas de Tarentum (f.c.350) parece haver sido o primeiro a desenvolver a teoria das polias, uma espécie de máquina simples que tem como princípio a lei da alavanca.

O filósofo grego Epicuro de Samos (341-270) foi também um defensor das idéias Aristóteles sobre o movimento.

O astrônomo grego Estratão de Lampsaco (340-270) descreveu o princípio da alavanca, bem como divulgou os conceitos aristotélicos sobre o movimento.

Os filósofos estóicos, o fenício Zenão de Cítio (332-262) e os gregos Cleantes de Assos (c.312-232) e Crisipo de Soli (277-c.204), bem como o engenheiro Philon de Bizâncio (c.300- ?) também defenderam as idéias aristotélicas sobre o movimento.

O matemático grego Arquimedes de Siracusa (c.287-212) em seu tratado (composto de dois livros) *Sobre o Equilíbrio dos Planos* apresentou suas famosas leis da alavanca: 1. - "Pesos iguais a igual distância estão em equilíbrio, e pesos iguais a distâncias desiguais não estão em equilíbrio, mas inclinam-se para o peso que está na maior distância"; 2. - "Grandezas comensuráveis ou incomensuráveis equilibram-se quando são inversamente proporcionais às suas distâncias ao ponto de apoio". Ainda nesse tratado, Arquimedes discute o problema da determinação do centro de gravidade das figuras planas, inclusive do segmento parabólico. Em seu outro livro *Sobre os Corpos Flutuantes*, Arquimedes estudou a determinação do centro de gravidade de corpos imersos em fluidos e chegou ao seu famoso princípio, hoje conhecido como princípio de Arquimedes: - "Quando um corpo flutua em um fluido, seu peso é igual ao do fluido deslocado e, quando submerso, seu peso diminui daquela quantidade". (Registre-se que foi a idéia clara que Arquimedes tinha sobre a densidade dos corpos, que ele denominava de gravidade específica, que o levou a descobrir esse princípio.) Arquimedes foi também um grande inventor, sendo que suas duas mais conhecidas invenções, foram: o chamado **parafuso de Arquimedes**, um dispositivo em forma de

hélice, usado para elevar água de baixo para cima; e um dispositivo formado de uma associação de roldanas e rodas dentadas, usado para levantar e arremessar pesos.

O engenheiro grego Ctesíbio de Alexandria (285-247) usou a pressão (estática e dinâmica) do ar e da água para construir vários dispositivos como, por exemplo: um espelho ajustável para a barbearia de seu pai; uma bomba de ar, com válvulas; uma bomba hidráulica utilizada em incêndios; uma catapulta movida a ar comprimido; um hidrômetro; e um órgão movido a água. No entanto, sua invenção mais famosa foi a **clepsidra** (do grego: *kleiptein* - rouba; *hydor* - água) ou **relógio d'água**. Neste, a água, gotejando com velocidade constante em um reservatório, fazia subir um fluído provido de um ponteiro o qual indicava a hora em um tambor, engenhosamente ajustado para permitir seu uso durante o dia inteiro.

Os Primeiros Séculos A. D.

O engenheiro grego Heron de Alexandria (c.20 - ?) em sua **Mecânica**, obra composta de três livros, descreveu a construção das mais variadas espécies de máquinas simples, assim como tratou dos problemas mecânicos da vida diária, usando para isso uma generalização do princípio da alavanca arquimediano, qual seja: -"Todo aumento de força se fazia com um devida encurtamento da distância", e o conceito de que "a máquina serve para canalizar e ampliar o trabalho". Ainda nesse livro, Heron descreveu um dispositivo que utilizava a roda dentada para converter (em giros de um ponteiro) as rotações das rodas de uma carroça em movimento, constituindo-se tal dispositivo, numa espécie de "velocímetro primitivo". Heron foi também um defensor das idéias aristotélicas sobre o movimento. Em sua **Pneumática**, obra composta de dois livros, descreveu um dispositivo - o **sifão** - por ele construído e que era empregado para extrair líquido de um recipiente sem entorná-lo; extração essa feita a através de um tubo recurvado em forma de U, cujo lado maior ficava fora do recipiente.

O matemático grego Pappus de Alexandria (c.260-?) divulgou a **Mecânica** de Heron, bem como parece haver sido o primeiro a apresentar uma teoria do **plano inclinado**.

IDADE ANTIGA: PARTÍCULAS, ELETRICIDADE, MAGNETISMO, CALOR

Os Primeiros Séculos a. C.

O poeta grego Homero (f.c. século 9 ou 8) afirmava que todas as coisas do Universo se originavam do deus Oceano.

O poeta grego Hesíodo (f.c.800) acreditava que todas as coisas se originavam do Caos.

O filósofo grego Tales de Mileto (624-546) afirmava que o elemento primordial do Universo era a **água**, "sobre a qual a Terra flutua e é o começo de todas as coisas". Parece ser, também de Tales, a primeira observação sobre um fenômeno elétrico ao atritar um bastão de âmbar (**elektron**, em grego) com um pedaço de lã, e notar que o mesmo atraía corpos leves em sua proximidade. Tales ainda registrou a propriedade que certas pedras (encontradas pelo pastor grego Magnes, na Tessália, uma província grega, depois denominada de Magnésia), apresentavam a propriedade de atrair pedaços de ferro. Essas pedras, que passaram a ser conhecidas como **magnetita** ou **ímã natural**, são hoje reconhecidas quimicamente como Fe_3O_4 .

O filósofo grego Anaximandro de Mileto (610-547) considerava ser o **apeíron** (**infinito**, em grego) a substância fundamental do Universo.

O filósofo grego Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500) admitia que o **ar** era o elemento universal de vez que o mesmo se reduzia à **água** por simples compressão.

O filósofo grego Xenófones da Jônia (Colofonte) (c.570-c.460) acreditava que a **terra** era a matéria prima do Universo.

O filósofo grego Heráclito de Efeso (c.540-c.480) tomou o **fogo** como o elemento universal.

O grego Teodoros (f.c.530) parece haver sido o primeiro a utilizar o poder de expansão do ar quente ao

introduzir um sistema de aquecimento central no mais famoso templo construído em Éfeso, na Ásia, para homenagear a deusa Diana.

Para o filósofo grego Anaxágoras de Clazômenas (c.500-c.428) o Universo decorria da ação de uma razão abstrata sobre as **homeomerias (sementes)** que seriam as matérias primas constituintes de todas as espécies imagináveis. Contudo, elas seriam partículas diferentes, e em número infinito, no sentido de que existiriam "sementes" dentro de novas "sementes" que, do mesmo modo, continham outras "sementes", e assim por diante *ad infinitum*. Com relação à ordenação do Universo, esse filósofo admitia que o **nous** (causa ou força) dessa ordenação era transcendente no sentido de que começou a mover as coisas, e na medida em que as ia colocando em movimento, as separava. Anaxágoras também observou a propriedade de a magnetita atrair pedaços de ferro.

O filósofo grego Empédocles de Agragas (atual Agrigento) (c.490- c.430) descreveu um aparelho que demonstrava a relação entre a expansão do ar e a variação da temperatura. Com relação aos elementos fundamentais do Universo, esse filósofo considerava que eram em número de quatro: **água, ar, terra e fogo**, que se combinavam de várias maneiras para formar as substâncias, e que eram colocados em constante movimento por intermédio do amor ou amizade (**philia**, em grego) que os unia, e do ódio ou inimizade (**ekthros** ou **neikos**, em grego), que os separava.

O filósofo grego Sócrates de Atenas (c.470-399) também observou a propriedade magnética do ímã natural.

Os filósofos gregos Demócrito de Abdera (c.460-c.380) e Leucipo de Mileto (c.460-c.370) consideravam que todas as coisas do Universo eram formadas por um único tipo de partícula - o **átomo (indivisível, em grego)** -, eterno e imperecível, que se movimentava no vazio. Entretanto, para explicar as diversas propriedades das substâncias, admitiam que tais partículas diferiam geometricamente por sua forma (por exemplo,

admitiam que o **átomo de fogo** era esférico) e posição, e que, por ser infinitamente pequenos, só poderiam ser percebidos pela razão. Admitiam, ainda, que o **nous** de ordenação do Universo fazia com que os átomos produzissem toda a diversidade da substância, a partir do Uno.

O filósofo grego Platão de Atenas (c.427-c.347) em seu livro *Timaeus* afirmou que os quatro elementos de Empédocles eram corpos e os relacionou com os poliedros regulares do filósofo e matemático grego Pitágoras de Samos (c.582-c.497), da seguinte maneira: fogo-tetraedro, terra-hexaedro (cubo), ar-octaedro, água-icosaedro. (Ainda para Platão, o quinto poliedro regular - o dodecaedro -, simbolizava o Universo como um todo.) Esse filósofo também observou que a magnetita apresentava a propriedade de atrair pedaços de ferro.

O filósofo grego Diógenes de Apolônia (f.c. século 5) explicou a atração do ferro por parte da magnetita, dizendo que "a secura existente na magnetita se saciava na umidade existente no ferro".

O filósofo chinês Mo Ti (f.c. século 5) era partidário da visão "monoteísta", segundo a qual todas as coisas do Universo são formadas por um único tipo de partícula.

O filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) admitiu também a concepção quaternária do **arché (princípio, em grego)** universal, porém seus elementos fundamentais - os essenciais - eram: **frio (tò psychrón)**, **quente (tò thermón)**, **úmido (tò hydrón)** e **seco (tò xerón)** que, grupados dois a dois, reproduziam os elementos de Empédocles da seguinte forma: **seco + frio = terra**, **seco + quente = fogo**, **úmido + frio = água**, **úmido + quente = ar**. Ainda para Aristóteles os elementos úmido e seco eram **passivos** e tendiam a servir como "matéria", e os elementos quente e frio eram **ativos** ou **criativos** e serviam como instrumentos de "forma" ou de "movimento". Porém, esses quatro elementos comporiam apenas as coisas do planeta Terra e de seu satélite Lua, sendo que o espaço celeste era

formado por uma quinta essência - o éter.

O filósofo e botânico grego Teofrasto de Ereso (c.372-c.287) relacionou, em sua descrição sobre jóias, os nomes de alguns minérios que apresentavam o mesmo comportamento do âmbar, quando atritados.

O filósofo chinês Tsou Yen (Zou Yan) (360-c.260) apresentou a idéia de que os elementos fundamentais do Universo eram cinco: **água, metal, madeira, fogo e terra**. Contudo, esses elementos não eram considerados como meras substâncias, já que eram governados pelo dualismo básico dos princípios cósmicos do **yin** (terra, fêmea, passivo, absorvente) e do **yang** (céu, macho, ativo, penetrante).

Para o filósofo grego Epicuro de Samos (341-270) "os átomos têm uma inconcebível variedade de formas, já que não poderiam nascer tantas variedades delas se essas formas fossem limitadas; eles (os átomos) se encontram eternamente em movimento contínuo e, além disso, se movem com igual velocidade quando se deslocam no vazio".

O engenheiro grego Philon de Bizâncio (c.300-?) também descreveu um aparelho no qual demonstrava a expansão térmica do ar.

Parce que foram os chineses, por volta de 215, os primeiros a fazer o uso prático da magnetita, utilizando-a como bússola para orientação de viagens, quer terrestres, quer marítimas.

O filósofo hindu Kanada (Kanabhuj ou Kanablaksha: **devorador de átomos**, em sânscrito) (f.c. século 2 ou 1) acreditava que os elementos primordiais do Universo eram manifestações da **alma (atman)** ou **essência** desse mesmo Universo, e que havia cinco elementos-manifestações que se ligavam aos sentidos,

da seguinte maneira: éter-audição, ar-tato, fogo-visão, água-paladar, terra-olfato. Além disso, aos quatro elementos empedoclianos, Kanada acrescentou mais quatro: **espaço, tempo, alma e manas**, sendo que os dois primeiros constituíam a base do espaço físico no qual viviam e se movimentavam os corpos vivos, e que o **manas** seria a ligação do corpo com a alma. Ainda para Kanada, todos esses elementos primordiais da Natureza eram feitos de átomos indivisíveis e indestrutíveis.

O filósofo e poeta romano Tito Caro Lucrécio (c.95-c.55) no célebre livro *De Rerum Naturae*, publicado em 56 a.C., apresentou o atomismo em hexâmetros, e nessa apresentação, defendeu a idéia de que todos os objetos da Natureza, inclusive o corpo e a alma, eram constituídos de átomos. Para Lucrécio, que também observou a propriedade magnética do ímã natural, o nome **magnetismo** derivou da região grega de Magnésia.

Os Primeiros Séculos A.D.

O engenheiro grego Heron de Alexandria (20-?) em seu livro *Pneumática* descreveu um aparelho rudimentar que permitia relacionar a expansão do ar com a temperatura. (Esse aparelho é o precursor do **termoscópio** (do grego: **thérmos** - calor e **skopein** - observar), cujo uso só foi disseminado no século 17.) Ainda nesse livro, Heron descreveu a **colpila** (do latim: **aeolipyla** - porta de Eola), uma esfera oca com dois tubos recurvados e presos nela própria, de tal modo que fervendo a água contida na esfera, o vapor resultante, ao escapar por esses tubos, fazia a esfera girar. (Esse dispositivo é considerado como a precursora da **máquina a vapor**.)