

# NASCIMENTOS DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

Departamento de Física da UFPA

66075-900 - Belém, Pará

**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 in 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 MÉDIA: ASTRONOMIA

### O Primeiro Milênio

No século 6, o erudito Dyonisius Egiptius estabeleceu a data de nascimento de Jesus Cristo, como origem da **Era Cristã**, e na qual os anos são contados pelo complemento A.D., que significa **Anno Domini** (**Ano do Senhor**), ainda segundo Dyonisius. Assim, o ano de nascimento de Cristo foi tomado como 1 A.D.

O astrônomo hindu Ariabata I (476-c.550) afirmou que:- “A esfera das estrelas fixas é estacionária e a Terra, realizando uma revolução, produz o nascimento e o ocaso diário das estrelas e planetas”.

Os eruditos, o espanhol Isidoro de Sevilha (c.560-636) e o inglês Beda, o Venerável (673-735) acreditavam na esfericidade da Terra, na rotação diurna da abóbada celeste, no

movimento dos planetas para leste, e no movimento anual do Sol. (Aliás, é oportuno registrar que alguns historiadores consideram que foi Beda quem introduziu a notação A.D., referente à Era Cristã.)

O astrônomo e matemático hindu Brahmagupta (c.598-660), por volta de 628, escreveu um livro em versos sobre Astronomia, com dois capítulos sobre as matemáticas: progressão aritmética (com a qual encontrou a soma da série dos números naturais), equações do 2º grau, e geometria (com a qual encontrou as áreas de triângulos, quadriláteros e círculos, bem como volumes e superfícies laterais de pirâmides e cones). Nesse livro, há a negação da rotação da Terra.

O erudito inglês Alcuíno de York (735-804) ao dirigir em Paris, a reforma educacional proposta pelo imperador franco-alemão Carlos Magno (742-814), defendeu a idéia de um modelo geoheliocêntrico para o sistema planetário, nos moldes do que havia sido proposto por Heráclides de Pontos, esquecendo, portanto, a teoria planetária dos epiciclos de Apolônio de Perga-Cláudio Ptolomeu.

Por volta do século 9 os árabes traduziram o livro de Ptolomeu, ocasião em que recebeu o nome de *Almagest*, que é uma corruptela do nome hispano-árabe *Al-Majisty* (*O Grande Tratado*).

O califa árabe al-Mamun (786-833) construiu uma série de observatórios planetários.

O matemático e astrônomo árabe Abu Ja'far Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi (c.780-c.850) preparou uma série de tabelas astronômicas (**zij**, em árabe) de futuras posições planetárias e estelares, assim como organizou uma geografia mundial, trabalhos esses baseados nos livros *Megale Mathematike Syntaxis* (*Grande Compilação Matemática*) e *Geographike Hyphegesis* (*Guia à Geografia*) de Ptolomeu. (Al-Khwarizmi imortalizou-se pela palavra **álgebra** que deriva da tradução latina da palavra árabe **al-Jabr** que faz parte do título de seu célebre trabalho *Ilm al-Jabr wa'l Muqabalah* (*A Ciência da Transposição e da Supressão*). O próprio nome de al-Khwarizmi foi distorcido para **algorismo** que significa **a arte de calcular**.)

O astrônomo árabe Abu-'Abdullah Muhammad ibn Jabir al-Battani (Albatênio) (c.858-929) - filho de um construtor de instrumentos - melhorou e construiu novos instrumentos astronômicos, tais como: relógio de sol, esfera armilar e quadrante mural. Com estes, obteve melhores resultados que os de Ptolomeu, como, por exemplo, a posição correta do afélio (ponto mais afastado do Sol em relação à Terra), valores mais precisos para o ano solar, para as estações e para a inclinação da eclíptica. Além do mais, aventou a hipótese dos eclipses anulares do Sol, assim como melhorou as tabelas astronômicas de Ptolomeu, substituindo métodos geométricos por trigonométricos, utilizando para isso (e de modo pioneiro), as tabelas de senos. Essas tabelas astronômicas foram reunidos no livro *Kitab al-Zij* (*Livro das Tabelas Astronômicas*), traduzido para o latim por volta de 1116, e para o espanhol no século 13.

O astrônomo árabe Abu'l-Husayn al-Sufi (903-936) notabilizou-se por suas observações e descrições das estrelas, estas registradas em seu livro *Das Constelações das Esferas Fixas*, e cujos nomes árabes de algumas delas (e dados por ele), ainda hoje permanecem: Aldebarã,

Altair, Betelgueuse e Ritel.

O astrônomo persa Abu al-Wafa' (al-Buzajani) (940-998) trabalhou no Observatório de Bagdá, dedicando-se à teoria lunar. Ao elaborar novas tabelas astronômicas, usou as funções trigonométricas: tangente e cotangente, bem como as funções secante e cosecante, estas últimas inventadas por ele próprio.

O médico e filósofo persa Abu-Ali al-Husain ibn Abdullah Ibn Sina (Avicena) (980-1037) defendeu a hipótese de que todos os corpos celestes tinham luz própria.

No primeiro milênio de nossa era cristã, a Astronomia árabe caracterizou-se, principalmente, por representar as posições dos astros celestes por intermédio de duas coordenadas: **altitude** e **azimute**. Esta, era medida a partir do norte verdadeiro e ao longo do horizonte.

## Séculos 11 e 12

Os astrônomos árabes, chineses e japoneses fizeram registros precisos das **supernovas** de 30 de abril de 1006 e de 4 de julho de 1054, nas constelações de Lobo e de Touro, respectivamente. A de 1006, inicialmente, brilhou como Vênus e permaneceu visível à noite por mais de um ano; ela foi também registrada no Ocidente, porém aí foi confundida com um cometa. A de 1054, inicialmente mais brilhante que Vênus, pôde ser vista de dia por 23 dias, e deixou em Touro uma grande mancha brilhante, mais tarde, no século 18, identificada como seu **remanescente óptico**. Os astrônomos chineses localizavam os astros celestes por intermédio de coordenadas equatoriais: **distância polar norte** e **ascensão reta**. Esta última coordenada era medida a partir da intersecção da eclíptica com o equador celeste e ao longo deste. Já a distância polar norte era marcada a partir do pólo norte celeste (que era o ponto central do céu, e por isso, foi considerado por eles como representante de seu Imperador, que estava no centro do Governo) e ao longo do meridiano do astro considerado. Esta medida, como uma pequena diferença, qual seja, distância do equador ao astro considerado e marcada ao longo de seu meridiano, é ainda hoje utilizada, porém com o nome de **declinação**.

O astrônomo armeno Abu Ar-Rayan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973-c.1051) desenvolveu uma teoria sobre a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo, bem como apresentou acurados cálculos de latitude e de longitude. Ele determinou o ângulo da eclíptica (plano da órbita da Terra em torno do Sol) com o equador terrestre:  $23^{\circ} 34' 0''$  (o valor atual é:  $23^{\circ} 34' 45''$ ). (É também desse astrônomo a demonstração da **lei dos senos** nos triângulos planos.)

O astrônomo, matemático e poeta persa Cheyás Umar ebn Ebrahim al-Khayyami (Omar Kháyýám) (c.1048-c.1131) - autor do famoso *Rubáiyát*, livro de versos escrito em quartetos - preparou tabelas atualizadas sobre dados astronômicos, conhecidas como *Tabelas Malikshah*, por ocasião em que foi diretor do Observatório de Merv. Em 1074, fez a reforma do calendário muçulmano, e escreveu, por volta de 1079, o melhor livro de seu tempo sobre Álgebra.

O astrônomo espanhol Jabir ibn Afflah (f.c.século 12) criticou o conceito do **equante** introduzido por Ptolomeu.

O filósofo árabe Abu-al-Walid Muhammad ibn Rushd (Averróis) (1126-1198) rejeitou o modelo de Ptolomeu, criticando principalmente o artifício do **equante**, e voltou-se para o modelo de esferas concêntricas de Calipo-Eudoxo-Aristóteles, havendo, através de vários artifícios, reduzido as 55 esferas aristotélicas, para apenas 47.

### Séculos 13, 14 e 15

O astrônomo e matemático inglês John de Holywood (Sacrobosco) (1190-1244), em seu livro *De Sphaera Mundi (Da Esfera do Mundo)*, explicou o nascente e o poente helíacos dos astros, isto é, que ocorrem junto com o Sol, assim como os signos zodiacais. Há, também, nesse livro, as demonstrações dos movimentos dos planetas e do Sol, e as causas dos eclipses lunares e solares, demonstrações essas feitas à base do modelo de Ptolomeu. Escreveu ainda mais dois outros livros: *De Algoristio*, no qual trabalhou com números inteiros não negativos, e o *De Computo*, no qual mostrou a grande diferença entre as estações e o calendário Juliano. Em consequência, sugeriu uma solução análoga a que seria mais tarde adotada pelo papa Gregório XIII (Ugo Boncompagni) (1502-1585).

O rei espanhol Alfonso X de Castela e Leão (1221-1284) apresentou em 1252, data de sua coroação, as famosas **tabelas alfonsinas**, registros astronômicos preparados por um grupo de sábios cristãos e judeus reunidos em Toledo, sob sua coordenação. Ao preparar os dados dessas tabelas, e tendo em vista o grande número de ciclos e de epíclis dos modelos planetários até então conhecidos, teria pronunciado a seguinte frase: -“Se Deus me tivesse consultado por ocasião da criação do Universo, lhe teria recomendado um esquema mais simples”.

Por volta de 1267, o erudito inglês Roger Bacon (c.1220-1292) publicou o livro intitulado *Opus Majis (Obra Maior)*, no qual apresentou a idéia de se usar lentes para olhar para o Sol, a Lua e as estrelas.

Em 1299, Peter Limoges especificou a posição dos cometas em termos de latitude e longitude, usando para isso um tipo de astrolábio denominado **torquetum**.

O astrônomo islâmico al-Din ibn al-Chatir (f.c.século 14) substituiu o **equante** de Ptolomeu por epíclis extras.

Em 1315, Geoffrey de Maux também especificou a posição dos cometas em termos de latitude e longitude, usando para isso o mesmo tipo de astrolábio denominado **torquetum**.

O erudito Alberto da Saxônia (c.1316-1390) em seu *Quaestiones Super Quator Liber de Caelo et Mundi* sustentou a tese de que todas as estrelas e planetas recebiam sua luz do Sol.

Em 1330, Levi Ben Gerson construiu o instrumento denominado **bastão de Jacob**, com o objetivo de determinar as distâncias entre astros celestes, usando para isso as paralaxes dos mesmos.

Em 1364, Giovanni de Dondi (1318-1389) construiu um relógio e o instalou na Biblioteca do Castelo Visconti. Esse relógio continha sete mostradores, cada um deles simbolizava um planeta com toda sorte de dados astronômicos e, apresentava, também, um

outro mostrador extra para marcar o tempo.

Em 1386, foi construído um relógio e instalado na torre da Catedral de Salisbury, na Inglaterra. Nesse relógio, basicamente, o tempo era medido pelo movimento mecânico periódico de uma pesada barra que era empurrada, ora num sentido, ora noutro por uma roda dentada que avançava por um espaço de um dente em cada oscilação dupla da barra. A roda, por sua vez, era movida por um peso suspenso em um tambor.

Em 1389, um relógio semelhante ao da Catedral de Salisbury foi instalado na Catedral de Rouen, na França.

Em 1402, Jacobus Angelus também especificou a posição dos cometas em termos de latitude e longitude, usando para isso o mesmo tipo de astrolábio denominado **torquetum**.

Em 1420, o astrônomo mongol Ulugh Begh (1394-1449) fundou em Samarcanda, na Ásia Central, uma **madrassa**, isto é, um Instituto de Altos Estudos centrado em Astronomia. Em 1424, foi nele construído um grande observatório, localizado num prédio de três andares, possuindo um sextante girante, até então, o maior instrumento astronômico mundial. Nesse observatório, Ulugh Begh realizou observações que o levaram a encontrar erros nas tabelas de Ptolomeu. Assim, o único cientista mongol da Idade Média, preparou sua própria tabela (**zij**), que ficou conhecida como **zij-i gurgani**, o **zij** de Ulugh Begh, já que **guragon** era um dos títulos usado por ele. Nessa tabela há um mapa celeste com 994 estrelas, que é o primeiro mapa original desde o de Hiparco.

Entre 1433 e 1472, o matemático florentino Paolo Toscanelli (1397-1482) realizou observações sobre os cometas, bem como contribuiu na construção de instrumentos para essas observações.

Em 1440, o astrônomo, matemático e filósofo alemão, Cardeal Nicolau de Cusa (1401-1464) publicou o livro *De Docta Ignorantia* (*Douta Ignorância*), no qual afirmou que a Terra girava em torno de seu eixo e em torno do Sol, que o Universo era infinito, e que as estrelas eram outros sóis com planetas habitados. Há ainda nesse livro uma idéia revolucionária: o **princípio cosmológico** segundo o qual o observador verá o Universo girar em torno de si, em qualquer parte que esteja no mesmo, isto é: no Sol, na Terra, na Lua, em qualquer planeta ou mesmo estrela.

O astrônomo austríaco George von Puerbach (1423-1461) era partidário da idéia de Aristóteles sobre as esferas cristalinas nas quais os planetas se situavam. Foi um fabricante de instrumentos astronômicos e, com os mesmos, recalculou efemérides com o objetivo de corrigir as **tabelas alfonsinas**, vigentes desde 1252. Para essa tarefa, utilizou uma tabela de senos naturais, ao invés de cordas, senos esses calculados com diferença de dez (10) minutos. Os valores desses senos foram escritos em algarismos arábicos, que tiveram seu uso difundido na Europa pelo matemático italiano Leonardo Fibonacci (1170-1230). (Apesar de usar cálculos trigonométricos, estes não eram considerados como tal, uma vez que o termo **Trigonometria**, só apareceu no livro de Bartholomeus Pitiscus (1561-1613), chamado *Thesaurus*, publicado em 1613.) Com a ajuda de um rico colecionador de manuscritos gregos, de Nice, Puerbach começou a traduzir do grego, bem como aperfeiçoar e corrigir o *Megale* de Ptolomeu. Essa tradução, denominada de *Epitoma Almagesti Ptolomaei* (*Resumo (Epítome)*

do *Almagest de Ptolomeu*), não foi concluída, em virtude de sua morte prematura aos 38 anos de idade.

Em 1471, o astrônomo alemão Johannes Müller von Königsberg (Regiomontano) (1436-1476), discípulo de Puerbach, montou em sua própria casa em Nuremberg, um observatório dotado de atelier e da espetacular novidade da época, a **imprensa**, que havia sido inventada pelo alemão Johannes Gutenberg (c.1398-c.1468), por volta de 1438.

Em 1472, com o auxílio intelectual e financeiro de seu aluno, o rico mercador alemão Barnhard Walther (1436-1504), Regiomontano fez observações muito precisas de um brilhante cometa aparecido em janeiro desse ano, graças às quais ele foi identificado dois séculos mais tarde como o **cometa de Halley**. Em seu livro *Dezessete Perguntas sobre Cometas*, Regiomontano descreveu um método para determinar a paralaxe de um cometa, extrapolando o descrito por Ptolomeu para obter a distância Terra-Lua. Embora solicitado por seu mestre Puerbach (quando este estava em seu leito de morte) para concluir o *Epitoma*, Regiomontano não pôde fazê-lo, por morte prematura, aos 40 anos de idade, morte essa que também o impediu de trabalhar na reforma do calendário Juliano, por solicitação que lhe fizera o Papa Sixto IV (Francesco Della Rovere) (1414-1484), em 1475. (Foi este Papa que iniciou a decoração da hoje famosa **Capela Sixtina**.)

## IDADE MÉDIA: ÓPTICA

### Séculos 11, 12 e 13

Por volta de 1038, o físico e matemático iraquiano Abu-'Ali Al-Hasan ibn al-Haytham (al-Hazen) (c.965-1038) em seu livro *Kitab Al-Manazer (Tesouro da Óptica)* - obra de conteúdo puramente geométrico -, afirmou que a fonte dos raios luminosos está no Sol ou em qualquer outro objeto luminoso, e mais ainda, que a visão se deve tão somente à reflexão desses raios para os olhos que estão contemplando determinado objeto. Ainda nesse livro, ele completou a lei da reflexão da luz, afirmando que “o raio incidente, o raio refletido e a normal, estão no mesmo plano”. Apesar de muito esforço e experimentação sobre a refração, al-Hazen não conseguiu formular corretamente sua lei, porém, corrigiu as tabelas de refração de Ptolomeu. Ao estudar a estrutura anatômica do olho, principalmente o cristalino (o qual supôs ser o receptor da imagem), demonstrou então que o poder de ampliação de uma lente era devido à sua curvatura, e não a uma propriedade intrínseca à sua composição, conforme a opinião da época. Al-Hazen construiu também um sistema de lentes e discutiu algumas propriedades dos espelhos esféricos e parabólicos, principalmente a determinação de seus focos, determinação essa que ficou conhecida como o **problema de al-Hazen**. Ao tentar determinar o foco dos espelhos esféricos, descobriu a **aberração de esfericidade**, isto é, a indefinição do foco de tais espelhos, quando um feixe de raios luminosos paralelos incidentes nos mesmos, for de grande abertura angular. Observou ainda al-Hazen que isso não acontece nos espelhos parabólicos, já que os raios luminosos incidentes são refletidos e focalizados em um mesmo ponto, independentemente da distância daqueles raios ao eixo do espelho. É ainda de al-Hazen a observação de que há um aparente aumento da Lua quando próxima do horizonte, e que o crepúsculo solar permanece até mesmo quando o Sol está cerca de 19° abaixo

do horizonte. Tais fenômenos decorrem da refração da luz na atmosfera terrestre, concluiu al-Hazen. Deve-se ainda a esse sábio árabe a obtenção de imagens em câmaras escuras, bem como a redescoberta da “lei do trajeto mínimo da luz”, enunciada por Heron de Alexandria. Observe-se que em todo estudo feito por al-Hazen sobre os fenômenos e suas conseqüências, não há nenhuma alusão à natureza da luz.

O erudito inglês Robert Grosseteste (c.1175-1253) usou o *Tesouro da Óptica* de al-Hazen em suas experiências com a reflexão e a refração da luz. Contudo, sua lei da refração - “O ângulo de refração é a metade do ângulo de incidência” -, mostrou-se ser completamente equivocada. Por outro lado, como esse livro de al-Hazen era de conteúdo puramente geométrico, sem conter qualquer reflexão sobre a natureza da luz, Grosseteste retomou a concepção platônica sobre a mesma, isto é, segundo a qual a luz é uma criação divina, e a tomou como a substância primordial do Universo.

Em 1266, o filósofo inglês, o monge franciscano Roger Bacon (1214-1292) ao estudar o fenômeno do arco-íris, afirmou que o mesmo era devido a pequenas imagens do Sol desvanecido em inúmeras gotas d’água, e que suas cores (em número de cinco) eram conseqüência de um fenômeno subjetivo produzido pelo olho. Além do mais, observou que sua localização no espaço só ocorria quando o ângulo entre a direção dos raios solares incidentes e a dos raios refletidos pelas nuvens até os olhos do observador, era de  $\sim 42^\circ$ .

Em 1267, em seu livro *Opus Majis (Obra Maior)*, Roger Bacon afirmou que um raio luminoso atingindo o olho “diretamente e perpendicularmente”, era a imagem perfeita da graça; e mais ainda, que através da visão poderíamos perceber como a sabedoria divina se manifesta no mundo visível. Bacon também se interessou pelo estudo da Óptica Geométrica, chegando a construir lentes e a sugerir seu emprego em espetáculos teatrais. Ao afirmar que através de lentes, o Sol, a Lua, e as estrelas poderiam aparecer mais perto de nós, Bacon torna-se o precursor do telescópio. Admitiu, também, que a luz necessitava de um certo tempo para se propagar, isto é, que sua velocidade era finita.

Por volta de 1274, o erudito silesiano Witelo (c.1225-c.1275), em seu livro *Perspectiva* - um tratado fundamentado em Ptolomeu e al-Hazen - apresentou uma primeira percepção do espaço, assim como, descreveu suas experiências relacionadas com a refração da luz nas interfaces ar-água, ar-vidro e água-vidro, e com a dispersão da luz branca em um prisma hexagonal e em esferas de vidro cheias d’água, com as quais abordou o problema das cores do arco-íris.

O físico persa Ibn Marud al-Schirazi (f.c.metade do século 13) ao estudar o fenômeno do arco-íris, afirmou que o mesmo era devido à dupla refração e reflexão dos raios solares nas gotículas d’água que compõem as nuvens.

Entre 1280 e 1290, no vale do rio Arno, na Itália, houve o emprego de lentes para corrigir a visão, isto é, seu emprego como **óculos**. No entanto, eles eram muito grosseiros, dando imagens deformadas dos objetos, por falta de boas técnicas de polimento de vidro.

O erudito inglês John Peckman (1292- ? ), Arcebispo de Canterbury, fez uma série de estudos sobre a Óptica Geométrica.

## Séculos 14 e 15

Em 1304, o monge e erudito alemão Dietrich von Freiberg (Teodorico de Freiberg) (c.1250-c.1310) publicou o livro intitulado *De Iride et Radialibus Impressionibus* (*Sobre o Arco-Íris e as Impressões Causadas pelos Raios*), no qual apresentou a hipótese de que o arco-íris era resultado de uma combinação de refração e de reflexão da luz solar por gotículas de chuvas individuais, e não coletivamente como considerava Aristóteles. A fim de verificar essa hipótese, encheu esferas cristalinas ocas com água e as colocou no trajeto de raios solares. Com essa experiência, Teodorico conseguiu reproduzir os arcos-íris primário e secundário. Além do mais, demonstrou que o secundário apresentava invertida a ordem de suas cores em relação à do primário; e mais ainda, que o ângulo entre os raios incidente e emergente dos raios secundários era maior que 11° em relação aos primários, observação essa que concordava com os arcos-íris naturais observados. Com isso, Teodorico explicou a chamada **região escura de Alexandre**, região situada entre os dois arcos-íris, e que havia sido pela primeira vez descrita pelo filósofo grego Alexandre de Afrodísias, por volta de 200 a.C.

Por volta de 1390, o erudito italiano Blaise de Parme, em seu livro *Quaestiones Perspectivae* (*Questões de Perspectiva*), tratou da Óptica através da Perspectiva.

Em 1420, o matemático florentino Paolo Toscanelli (1397-1482), em seu livro *Della Prospettiva* (*Da Prospettiva*), também usou a Perspectiva para estudar a Óptica.

## IDADE MÉDIA: MECÂNICA

### Século 6

Por volta de 520, o filósofo grego John (Ioannes) Philoponos (c.475-c.565) afirmou que o movimento de um corpo no ar não se devia ao empurrão exercido pelo ar sobre o corpo, como diziam os aristotélicos, e sim a uma “espécie de inércia” - **impetus, impetus impressa, virtus motiva, virtus impressa** -, a qual o mantinha em movimento. Afirmou ainda que a velocidade desse mesmo corpo era proporcional ao excesso da força de resistência. Em vista dessas idéias, escreveu que: - “Para dois corpos de pesos diferentes caindo da mesma altura, a relação entre os tempos gastos na queda não dependia da relação de seus pesos, já que a diferença entre tais tempos era muito pequena”.

### Séculos 11 e 12

O astrônomo armeno Abu Ar-Rayan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973-c.1051) determinou, com alguma precisão, o que hoje se denomina de peso específico de alguns metais.

O médico e filósofo persa Abu-Ali al-Husain ibn Abdullah Ibn Sina (Avicena) (980-1037) defendeu e divulgou as idéias de Philoponos sobre o **impetus**, o mesmo acontecendo com Abu al-Barakat Hibatallah ibn Malka al-Baghdahi (f.c.século 12).

## Séculos 13 e 14

O erudito Jordannus Nemorarius (? - 1237) observou que a gravidade que atua em um corpo deslizando em um plano inclinado age tanto menos, quanto maior for sua inclinação.

O erudito alemão Alberto Magno (1193-1280) admitiu a idéia do **impetus** ao discutir o movimento de um projétil.

O teólogo italiano São Tomás de Aquino (c.1225-1274), apesar de haver sido aluno de Alberto Magno, não aceitou a teoria do **impetus** pois, aristotelicamente, interpretava a queda dos corpos como sendo devido a causas finais, ao admitir que a proximidade do lugar “natural” aumentava o **apetitus** ou a gravidade do movido.

O filósofo e teólogo inglês William of Ockham (Guilherme de Occam) (c.1285-c.1349) - fundador da **Escola Nominalista** -, rejeitou ao mesmo tempo a concepção aristotélica e a teoria do **impetus** sobre o movimento. Assim, ao usar seu **princípio da economia** ou da **parcimônia** - a famosa **navalha de Occam**: “As entidades não devem ser multiplicadas sem necessidade” - afirmou que “o movimento como um conceito não tem realidade fora dos corpos em movimento”. Ao se referir ao movimento de um projétil, afirmou mais ainda que ... “a coisa que se move num tal movimento, depois que o corpo movido se separou do primeiro propulsor, é a própria coisa movida, não porque haveria nela uma força qualquer, pois essa coisa que se move e a coisa movida não podem ser distinguidas”.

Os eruditos ingleses Thomas Bradwardine (c.1290-1349), William Heytesbury (f.c.1330-1348), John of Dumbleton (f.c.1338-1348) e Richard Suiseth (Swineshead) (f.c.1344-1355), do *Merton College* da Universidade de Oxford (fundada em 1167) - conhecidos como os **calculadores oxfordianos** -, consideravam o movimento analisando o problema aristotélico relacionado ao crescimento (**intensio**) ou ao decrescimento (**remissio**), em intensidade, das qualidades cinemáticas. Assim, trabalhando apenas hipoteticamente e sem nenhuma tentativa experimental, esse grupo conseguiu demonstrar que os movimentos uniformemente variados eram equivalentes aos movimentos uniformes, desde que estes últimos fossem descritos com a velocidade média dos primeiros, conforme dizemos hoje. Tal resultado ficou conhecido como a **Regra de Merton**.

O filósofo francês Jean Buridan (c.1300-1358) elaborou um pouco mais o conceito de **impetus**, ao colocar as seguintes questões: Por que razão o ar, no caso do movimento de um projétil, teria ele sozinho a faculdade de continuar a mover-se, para, por sua vez, mover o projétil? Por que o projétil não possuiria essa mesma faculdade? Ao responder a essas questões, Buridan desenvolveu sua teoria do **impetus**, segundo a qual, o impulsor cede ao impulsionado uma potência proporcional à velocidade e ao peso deste último, necessária a mantê-lo em movimento. E mais ainda, que o ar progressivamente reduz a impulsão, e que o peso pode aumentar ou diminuir a velocidade. Assim, usando esse conceito de impulsão, Buridan então afirmou que durante a queda de um corpo, este é movido pela ação conjunta da gravidade e do ímpeto adquirido, ação essa que resulta ser o movimento do grave mais rápido a cada instante. Buridan, também, chegou a usar essa doutrina do ímpeto para explicar os movimentos perenes dos planetas observados no céu, ao admitir que Deus talvez tenha, originalmente, saturado os planetas com ímpeto. Buridan ainda fez o estudo geométrico das

configurações dos crescimentos e decrescimentos das qualidades cinemáticas do movimento.

O erudito Alberto da Saxônia (c.1316-1390) estudou os movimentos **uniforme** e **uniformemente disforme** por intermédio de experiências com a queda dos corpos.

O erudito alemão Nicholas Oresme (Nicole d'Oresme) (c.1325-1382), Diretor do Colégio de Navarra da Universidade de Paris (fundada em 1160) e Bispo de Lisieux, estudou os movimentos **uniforme** e **uniformemente disforme**, conforme ele próprio os denominou, representando a variação da intensidade da qualidade de movimento (“velocidade”) de maneira geométrica. Assim, ao longo de uma linha horizontal marcava pontos que representavam instantes de tempo (ou **longitude** como o chamou) e, para cada um desses instantes, levantava uma perpendicular a essa mesma linha, cujo comprimento (**latitude**, nome também dado por ele) significava a “velocidade” naquele instante. Desse modo, os movimentos uniformes eram representados por um retângulo e, os uniformemente disformes por um triângulo, desde, é claro, que a velocidade inicial fosse nula. Examinando esses gráficos, Oresme observou que a soma das “velocidades” nesses gráficos, representava a distância percorrida pelo corpo, assim como demonstrou a famosa **Regra de Merton**. Esses trabalhos de Oresme foram encontrados nos diversos textos que escreveu (ou a ele atribuídos e escritos por discípulos), dentre os quais destacam-se: *Uniformitate et Difformitate Intensionum* (*Da Uniformidade e da Deformidade das Tensões*) (c.1350), *Tractatus de Latitudinibus Formarum* (*Tratado sobre as Larguras das Formas*) (publicado mais tarde em Pádua, em 1482) e *Tractatus de Figuratione Potentiarum et Mensurarum* (*Tratado da Delineação das Potências e Medidas*) (s/d). (Neste último livro Oresme sugeriu uma extensão tridimensional para seus gráficos.) Ainda com relação aos movimentos dos corpos, Oresme fazia uma diferença básica entre os movimentos celestes (supralunares) e terrestres (sublunares). Com efeito, a tese da divina dádiva do ímpeto dos planetas defendida por Buridan foi rejeitada por Oresme, uma vez que admitia o motor divino aristotélico guiando os astros nos céus. Por outro lado, com relação aos movimentos terrestres, ele foi anti-aristotélico ao explicar que a queda de um corpo sempre na vertical (conforme, via de regra, se observava), se devia ao fato de que o movimento da Terra (hipótese não admitida por Aristóteles) comunicava a esse corpo um ímpeto que, conjugado com a gravidade, faria o mesmo acompanhar o movimento de nosso planeta.

Em 1346, o erudito italiano Giovanni di Casali (fc.1346-1375), parece haver usado gráficos para representar o movimento.

## IDADE MÉDIA: PARTÍCULAS, ELETRICIDADE, MAGNETISMO E CALOR

### O Primeiro Milênio

Médicos latinos e árabes desenvolveram uma escala de 0-4 graus para representar as temperaturas de frio e quente.

Os filósofos hindus e/ou indianos consideravam que os átomos que compunham os quatro elementos gregos (**água, ar, fogo, terra**) só se combinavam se fossem semelhantes e desde que estivessem na presença de um terceiro. Desse modo, dois átomos poderiam causar um efeito (**dyad**), enquanto três desses “efeitos” produziriam um efeito de outra natureza (**tryad**). E mais ainda, o modo pelo qual os **dyads** se arrumavam para formar um **tryad** dava origem às diversas qualidades das substâncias. Esses filósofos admitiam, também, que o **espaço** e o **tempo** eram constituídos de átomos.

O alquimista árabe Abu Musa Djabir ibn Hayyan (Geber) (c.721-c.815) considerava que os quatro elementos gregos (**água, ar, fogo, terra**) se combinavam para dar lugar a apenas dois: **enxofre** e **mercúrio**, sendo que o primeiro destes constituía o **princípio da combustão (fogo)**. Já o mercúrio, por seu lado, estava ligado ao elemento líquido (água) e teria, também, o princípio das propriedades metálicas. Em suas experiências, Geber observou que a **cal** (hoje denominada **óxido**) que se forma da calcinação (**terra**) dos metais, pesa mais que estes ao serem queimados, como, por exemplo, acontece com o chumbo. Ainda para esse alquimista (e seus seguidores) os metais resultariam de combinações diferentes entre o enxofre e o mercúrio. A descoberta de uma dessas combinações, era o grande sonho desses protoquímicos - a famosa **pedra filosofal** -, pois com a mesma se poderia obter o ouro.

## Séculos 11, 12

Por volta do século 11, navegadores maometanos utilizaram a bússola em suas viagens pelo Mediterrâneo, fato esse que permitiu seu conhecimento aos Cruzados.

Em 1044, o erudito chinês Zeng Gong-Liang no livro *Compêndio das Técnicas Militares Importantes* descreveu as propriedades da agulha magnética.

Em 1088, o astrônomo chinês Shen Kua (1031-1095) escreveu o livro intitulado *Meng ch'i pi t'an (Ensaio no riacho dos sonhos)*, no qual apresentou a primeira descrição da bússola. Ainda nesse livro, Shen Kua descreveu uma série de observações que fez sobre vários assuntos, tais como: matemática, astronomia, cartografia, óptica e medicina.

O filósofo e médico judeu de origem árabe, o espanhol Moisés Ben Maimon (Maimônides) (1135-1204), admitia que não era só a matéria que era constituída de átomos mas, também, o espaço e o tempo da filosofia hindu. Por exemplo, para esse médico do sultão egípcio Saladino (1137-1193), o **tempo** era constituído de elementos atômicos chamados de **intervalos** ou **agoras**. Maimônides e seus seguidores acreditavam que todos os átomos eram continuamente criados por Alá, todos semelhantes, porém, não possuíam propriedades quantitativas, somente qualitativas.

## Séculos 13, 14 e 15

O erudito inglês Robert Grosseteste (c.1175-1253) considerou que “a **luz**, por sua extensão, condensação e rarefação explicava todos os fenômenos do Universo”; além do mais, “ela tem a propriedade de estar imediatamente presente em todos os lugares e propagar-se em todas as direções”. Considerou mais ainda que “por ser a luz una, as coisas múltiplas se apresentam dessa forma devido à sua própria multiplicidade”.

Por volta de 1186, o erudito inglês Alexander Neckam (1157-1217) publicou o livro *De Naturis Rerum* no qual há a primeira referência sobre o uso da bússola na navegação.

Em 1269, o erudito francês Petrus Peregrinus de Maricourt (c.1240- ? ) em sua epístola *De Magnete* registrou os estudos sistemáticos que fez do ímã natural. Desse modo, nesse livro, apresentou o mapeamento das diversas direções assumidas por pequenos pedaços retangulares de ferro colocados também sobre pequenas amostras esféricas de magnetita, chamadas por ele de **terrellas** (pequenas terras). Ao analisar esse mapeamento, observou que essas direções se cruzavam em pólos opostos, análogos aos pontos de cruzamento dos meridianos terrestres. Por essa razão, denominou-os de **pólos magnéticos**. São ainda dele, outras observações sobre os ímãs. Por exemplo, a de que seccionando-se uma agulha magnética ao meio, produzem-se dois novos ímãs, cada um deles com seus respectivos pólos magnéticos: norte e sul; a de que pólos de mesmo sinal se repelem e que de sinais contrários, se atraem; e a de que quando limalhas de ferro eram colocadas em um pedaço de papelão sob o qual se encontrava um ímã, tais limalhas se orientavam em direções determinadas que se dirigiam de um pólo ao outro desse mesmo ímã.

Em 1302, o navegador italiano Flávio Gioja (f.c.século 14) usou regularmente o ímã natural como **bússola** em suas viagens.

Em 1450, o Cardeal alemão Nicolau de Cusa (1401-1464) parece haver sido um dos primeiros a sugerir uma lei do tipo do “inverso do quadrado da distância” para representar a força entre pólos magnéticos.

Em 1492, o navegador italiano Cristovão Colombo (1451-1506) observou o desvio da agulha magnética ao atravessar o Oceano Atlântico, em sua descoberta do Novo Mundo.