

PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA

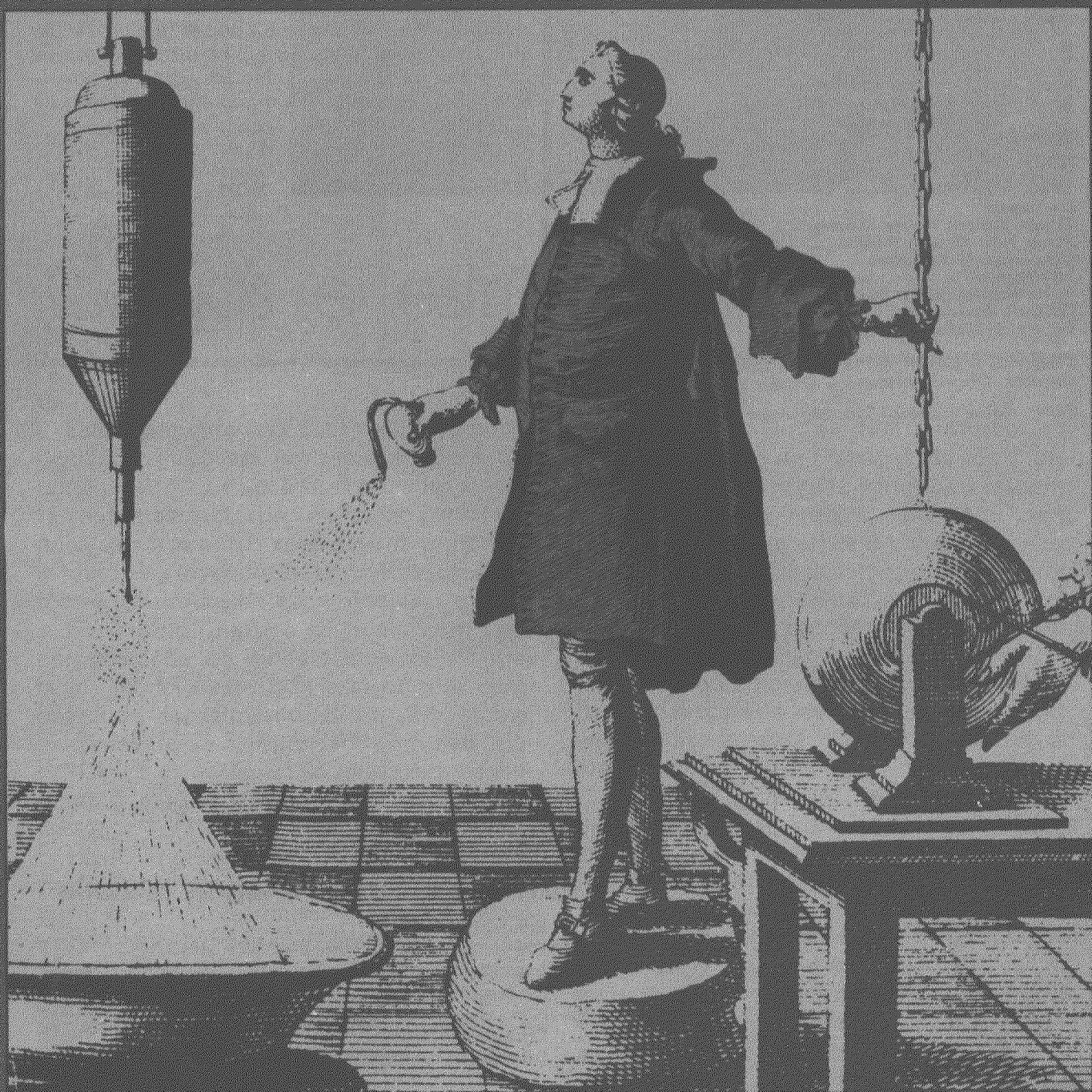
(FUSP) — Instituto de Física da Universidade de São Paulo

MEC/FENAVE/PREMEN

orientado

1

Cargas e estrutura da matéria



MEC/FENAME/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), mediante convênios com a FENAME e o PREMEN.

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger

Giorgio Moscati

Mecânica

Antonia Rodrigues

Antonio Geraldo Violin

Diomar da Rocha Santos Bittencourt

Hideya Nakano

Luiz Murylo Mantovani

Paulo Alves de Lima

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Elettricidade

Eliseu Gabriel de Pieri

José de Pinho Alves Filho

Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca

João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egidio Alonso

Ettore Michele di San Fili Bottini

Fotografias e Reproduções

José Augusto Machado Calil

Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira

Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo

Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos

José Ferreira

Voanerges do Espírito Santo Brites

Conjunto Experimental

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 20 516, São Paulo - SP.

CAPA

Esta gravura antiga, sec. XVIII, representa uma experiência com uma máquina eletrostática

em que se eletrizam gotículas de água. Na época, pouco se sabia sobre eletricidade e as mais variadas experiências eram realizadas tentando obter algum indício que pudesse levar a uma melhor compreensão dos fenômenos elétricos. Não havia uma diretriz geral ou seqüência muito lógica para as experiências. Hoje, o eletromagnetismo é bastante conhecido e as experiências que se realizam para verificar detalhes da teoria e propriedades dos materiais são bem mais complexas e projetadas com base em resultados de experiências já realizadas e teorias aceitas. Atualmente há ainda assuntos da Física muito pouco compreendidos para os quais não se tem uma visão global satisfatória e não há teorias para provar e explicar os fenômenos. Nestas áreas as experiências são exploratórias e não são realizadas de forma muito ordenada.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 — Cargas e estrutura da matéria

1. Estrutura da matéria	1—8
2. Elétrons de valência e número atômico	1—11
3. Ionização	1—12
4. Eletrização	1—13
5. A indução elétrica	1—14
6. Condutores e isolantes	1—15
7. Exercícios de aplicação	1—18

Estudantes
trabalhando com o
material experimental
do PEF utilizado
numa versão
preliminar
em 1971 e 1972.



Cargas e estrutura da matéria

Este é um curso no qual você terá participação ativa. Isto porque ele não é um texto pronto, que você só precisa ler e aceitar o que está escrito; muito ao contrário, para seguir o curso você deverá completar o texto, escrevendo as respostas às questões e resultados de experiências.

Entretanto, o curso se inicia com uma apresentação do modelo atômico da matéria, modelo este que não admite comprovação experimental direta em classe. Você deverá se familiarizar com esse modelo, cuja utilidade só se tornará mais evidente à medida em que você avançar no curso.

Dessa maneira, a parte experimental dos dois primeiros capítulos é muito reduzida, mas seu conteúdo é extremamente importante para a compreensão dos assuntos abordados nos capítulos seguintes; a partir do Capítulo 3, a situação se inverte: a quantidade de informações se torna pequena em comparação com o número

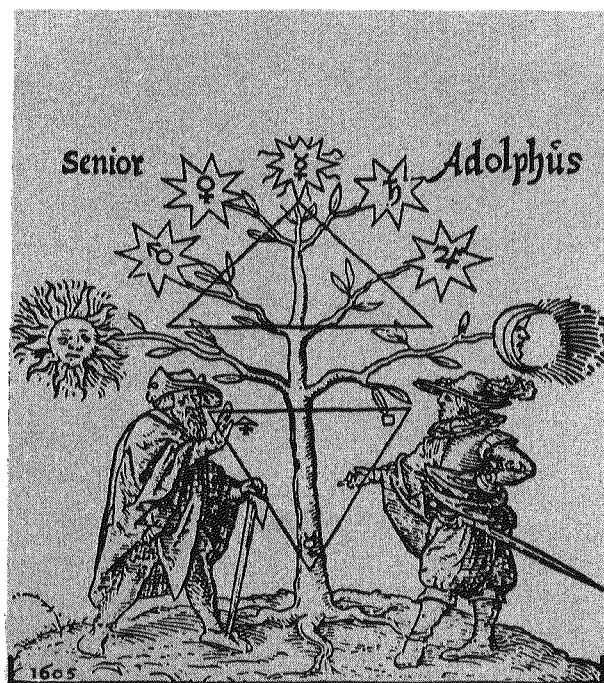
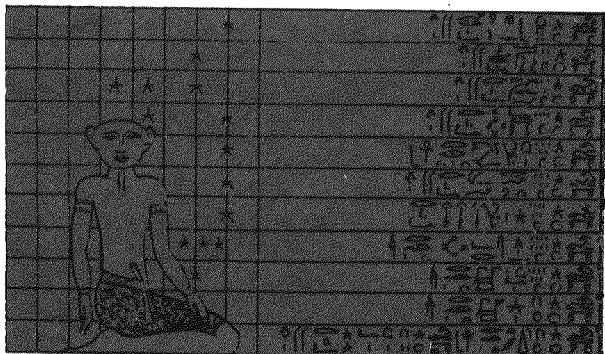
de experiências que se devem realizar.

Para o estudo da Eletricidade são indispensáveis certas noções mínimas a respeito da estrutura da matéria. Ou seja, para compreender algo sobre o comportamento elétrico dos corpos, devemos partir de uma análise das características das partículas elementares que compõem a matéria, bem como da maneira com que elas se arranjam. Explicaremos, em função dessa análise, as propriedades elétricas que observamos diretamente ou com o auxílio de instrumentos.

Na seção seguinte faremos um resumo breve do que se sabe atualmente sobre a estrutura da matéria. Estes conhecimentos são o resultado da ciência experimental dos últimos 200 anos. Antes, porém, de abordar tais conhecimentos, é interessante contar algo sobre a evolução das idéias do homem relativas à estrutura da matéria durante os longos milênios que precederam este breve período.

À direita: Ilustração que mostra o sentido místico atribuído às propriedades da matéria e às formas geométricas antes e durante a Idade Média. Trata-se da "árvore da matéria universal" com o Sol (ouro), a Lua (prata) e as formas estreladas, contendo (da esquerda para direita): Marte (símbolo de ferro), Vênus (cobre), Mercúrio (mercúrio), Saturno (chumbo), Júpiter (estanho). No triângulo de baixo estão os signos da matéria primária (enxofre, sal, mercúrio). (*Da Occulta Philosophia* — Frankfurt, 1613.)

Abaixo: Gravura egípcia encontrada na tumba de Ramsés IX (1125 a.C.). Destinava-se a medidas de tempo baseando-se na posição das estrelas.



Nosso resumo histórico restringir-se-á à evolução dessas idéias ao longo da história da civilização ocidental, que começa essencialmente na Grécia, durante o milênio anterior à era cristã. Convém notar, entretanto, que em outras civilizações, notadamente as orientais, também houve preocupação com esse assunto. Na Índia, por exemplo, por volta do ano 1000 a.C., floresceu uma filosofia natural da matéria e do vazio que está em acordo com muitas das idéias recentes da ciência. A razão pela qual nos restringiremos ao ponto de vista ocidental é o fato de que a ciência moderna é fruto da civilização ocidental.

Na Grécia existiam, essencialmente, duas tendências filosóficas que abordavam diferentemente o problema da estrutura da matéria: uma, idealista, e outra, materialista.

A tendência idealista, cujos expoentes máximos foram Platão e Aristóteles, sustentava que a matéria era formada por quatro elementos básicos: ar, água, terra e fogo. Tais "elementos" existiriam na Terra, supostamente ocupando o centro do Universo; na região entre a Terra e os demais astros haveria um quinto elemento, o éter. Aristóteles negava, além disso, qualquer possibilidade de existência de

vácuo, ou seja, a possibilidade da ausência total de matéria.

Os quatro elementos dos idealistas dariam origem, por combinações em diferentes proporções, a todas as substâncias. Assim, as diferenças de características entre as diversas substâncias seriam devidas à diferença de sua composição a partir dos quatro elementos primordiais.

Entre as diversas escolas idealistas destaca-se a pitagórica, segundo a qual as combinações entre os elementos se fariam segundo relações harmônicas entre números e formas geométricas simples. Além de darem conta da estrutura da matéria, tais números e formas geométricas, assim como suas relações harmônicas, constituíam para os pitagóricos a essência imutável e eterna do Universo.

As escolas de tendência materialista tiveram sua origem com Tales de Mileto, cujas idéias foram parcialmente partilhadas por Heráclito. Segundo esses filósofos, as propriedades da matéria seriam explicadas através de combinações não fixas, mas em contínua transformação dos mesmos quatro elementos primordiais (terra, ar, água e fogo). O fogo era considerado o mais fundamental, pois seria o motor das transformações. A escola materialista

Oresme (1323-1382)
entrega a seu protetor Carlos V
a tradução que fez
da obra de Aristóteles, *Ética*.
O renovado interesse pela ciência,
baseado em antigos gregos,
árabes e judeus,
é uma das características próprias
da erudição medieval.
Nicole d'Oresme (1323-1382)
foi um grande matemático da época
(estudou em Paris,
tendo sido bispo de Lisieux
de 1377 até sua morte).
(La Baja Edad Média — Ed. Labor S.A.)



Na Idade Média as antigas representações greco-romanas das constelações ficaram conhecidas através de textos antigos e pelas traduções da obra do filósofo árabe Al-Sûfi que data do século XIII. É desta obra a ilustração abaixo. Hércules apresenta-se como um árabe. As estrelas que constituem a constelação são representadas por pequenos círculos de vários tamanhos que indicam suas grandezas relativas. Estão numeradas com algarismos árabicos, os quais começavam a ser utilizados no Ocidente naquela época. (La Baja Edad Média — Ed. Labor S.A.)



dava ênfase especial às transformações possíveis de um elemento em outro.

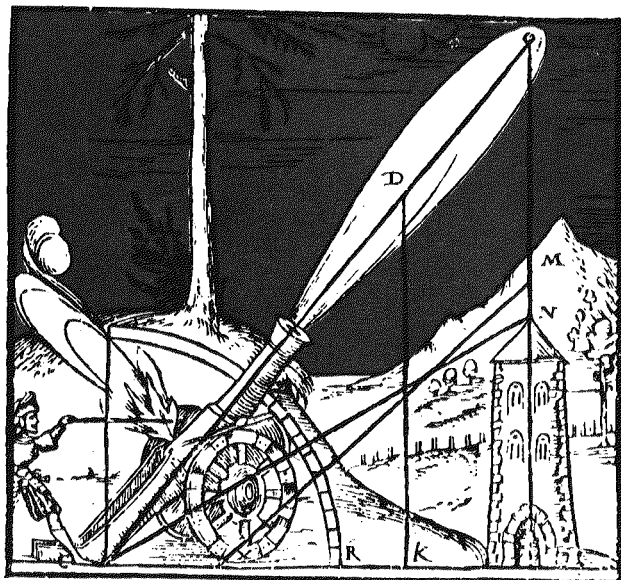
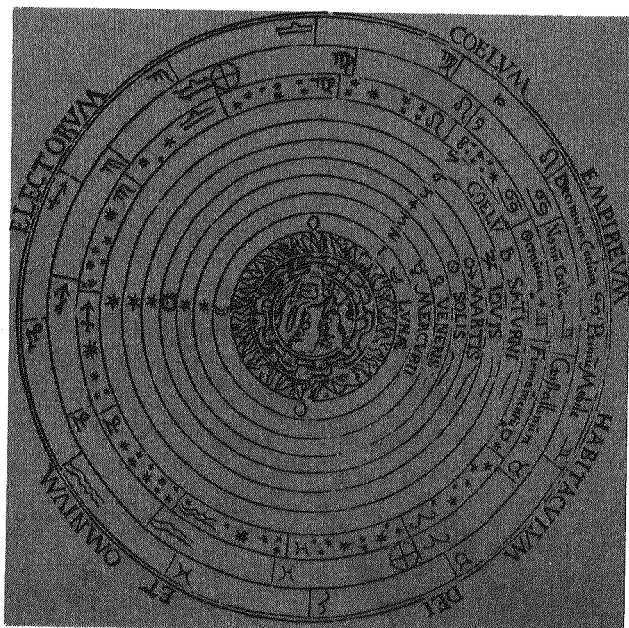
O ponto de vista materialista teve seu ponto mais alto na teoria atômica de Demócrito; segundo tal teoria, as substâncias seriam originadas a partir das combinações de um número praticamente infinito de partículas fundamentais indivisíveis, chamadas **átomos** (a-tomos = não divisível). Essas partículas, indestrutíveis, que diferiam entre si apenas segundo a forma geométrica e densidade, seriam animadas por movimentos incessantes. Diferentes arranjos das partículas dariam origem a diferentes propriedades nas substâncias.

Essas duas concepções, a idealista e a materialista, coexistiram na Grécia e em Roma; a tendência mais forte, no entanto, era de longe a idealista.

Com o advento da era cristã, os textos de Aristóteles passaram a representar para a filosofia natural aquilo que as Sagradas Escrituras representavam para a fé: repositórios da verdade, inquestionáveis, infalíveis e únicos de acordo com estas escrituras. Com isso, as correntes materialistas deixaram de existir como influências formadoras na filosofia natural, ficando o campo aberto para as concepções idealistas.

Em cima: A concepção do universo geocêntrico (Terra no centro) foi aceita durante muitos séculos, **acompanhada da crença da existência de uma esfera de cristal transparente** para cada planeta. A ilustração acima foi tirada da **Cosmografia**, de Peter Apian (Antuérpia, 1539). Mostra a Terra com os quatro elementos aristotélicos (terra, ar, fogo e água) no centro e, acima deles, as esferas celestes. A primeira é a da Lua, seguida pelas de Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, o último planeta conhecido antes da invenção do telescópio. Vem então a esfera das estrelas fixas, acima a nona esfera e, a seguir, o **Primum Mobile** de Aristóteles, a décima esfera guiada pela divindade e da qual provinha o movimento das outras esferas. Acima disto estava o céu (Empíreo, "a morada de Deus e de todos os eleitos")

Embaixo: O conceito aristotélico da trajetória de um projétil, numa gravura medieval. Desde que Aristóteles (384-322 a.C.) acreditava que nenhum corpo poderia executar dois ou mais movimentos simultâneos, a trajetória tinha que ser composta de dois movimentos distintos, em linha reta. Isto foi tido como verdadeiro durante séculos e séculos sem qualquer verificação experimental.



Nicolau Copérnico nasceu na Polónia em 1473 e faleceu em 1543. A foto é de um selo polonês de uma série comemorativa ao 5.º centenário de seu nascimento. Lembra os seis anos que ele passou na Itália, como discípulo de Novara de Bolonha, entre 1496 e 1501.



Esse estado de coisas perdurou até o século XV, quando começaram a surgir os primeiros desafios à autoridade de Aristóteles. Esse processo de contestação teve um de seus pontos altos com Copérnico, no século XVI, culminando no século XVII com as obras de Kepler, Galileu e outros. (Ver, a esse respeito, o Capítulo 1 do texto de Mecânica do PEF.)

Foi no século XVII que nasceu o que chamamos de **ciência moderna**. Muitas são as diferenças entre as maneiras antiga e moderna de encarar a natureza; duas delas, entretanto, merecem destaque.

A primeira é o processo através do qual se chega à formulação de uma teoria. As teorias antigas provinham da contemplação do Universo e da meditação estática sobre o que se contemplava. Elas tinham, assim, caráter essencialmente intuitivo, sendo profundamente marcadas pelo subjetivismo do observador.

Além disso, os antigos filósofos naturais não sentiam necessidade de submeter seus resultados a testes experimentais mais profundos: bastava-lhes a autoridade dos textos tradicionais e uma concordância superficial com os fatos observados para que eles aceitassem uma teoria.

As coisas são inteiramente diferentes na ciência moderna: hoje, uma teoria somente é levada em consideração quando, além de explicar os fatos observados, fizer previsões baseadas em procedimentos experimentais; as teorias são então aceitas, modificadas ou recusadas em função dos resultados dessas experiências. As teorias

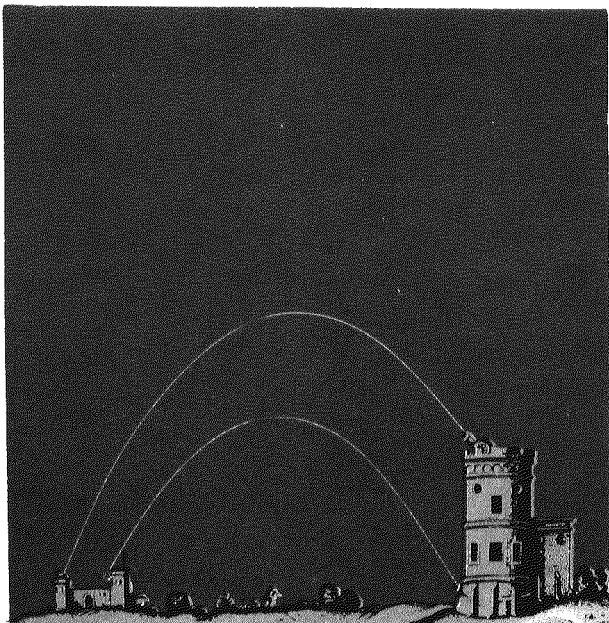
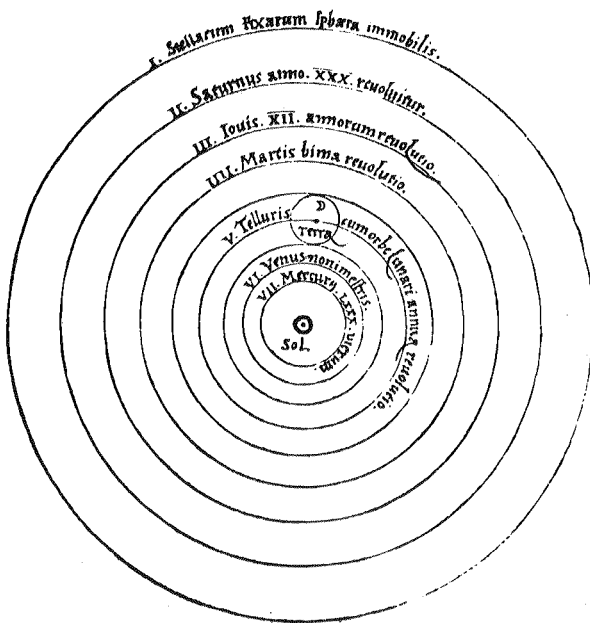
Num esforço de observação e engenhosidade,
Leonardo da Vinci (1452-1519)
arquitetou sua máquina para voar.

Repare, neste detalhe,
a semelhança da forma
com a asa dos pássaros.

(Biblioteca Ambrosiana, Milão.)

Em cima: Sistema Heliocêntrico de Copérnico. Doutrina revolucionária na época. A Terra foi destronada do centro do Universo e passou a ser considerada como estando em movimento.

Embaixo: Somente no século XVI, com o trabalho de Galileu, a trajetória parabólica foi aceita como verdadeira.



modernas procuram ter um caráter tão objetivo quanto possível, descrevendo uma realidade que é suposta independente do observador.

A segunda diferença entre os pensamentos moderno e antigo é a função social da ciência. As concepções antigas sobre o mundo visavam apenas a descrever a natureza e as noções que o homem tinha dela. As teorias anteriores ao século XVII não se destinavam a fornecer instrumentos de ação para a modificação da natureza, não servindo, assim, a finalidades humanas. Hoje, pelo contrário, a ciência é altamente operacional, procurando antes de mais nada descobrir como a natureza funciona (e não por quê, como os antigos faziam), utilizando os frutos dessa investigação para o progresso da civilização material. Este progresso, por sua vez, abre novas possibilidades ao avanço científico, tanto sob forma de novas idéias como de novos instrumentos de pesquisa.

Dessa maneira, mesmo que idéias antigas — como o atomismo de Demócrito e as concepções indianas — se assemelhem a concepções atuais, a semelhança é apenas superficial, pois as duas maneiras de ver o Universo são inteiramente distintas.

Depois de Galileu, a parte da Física que estuda os movimentos dos corpos se desenvolveu com grande rapidez, processo que culminou com a obra de Isaac Newton. Assim, no século XVIII a Mecânica Clássica já estava essencialmente completa.

As coisas não ocorreram da mesma forma com a estrutura da matéria: pode-se