

PROJETO  
DE ENSINO  
DE FÍSICA  
IFUSP — Instituto de Física da Universidade de São Paulo  
MEC/FENAME/PREMEN

eletricidade

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 Muryllo 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

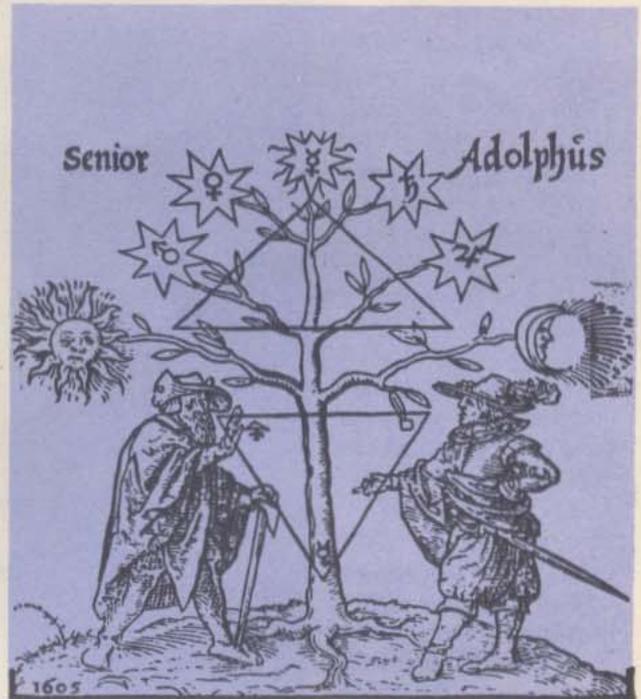
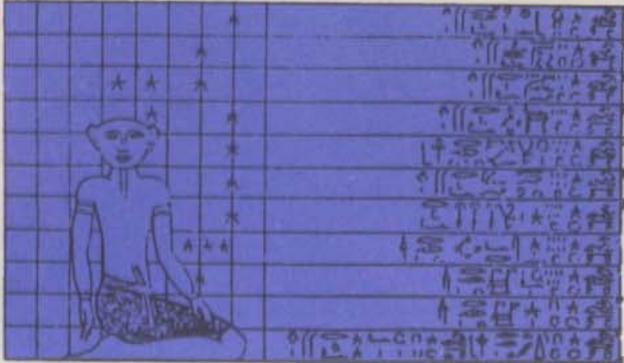
de experiências que se devem realizar.

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 começaram 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.

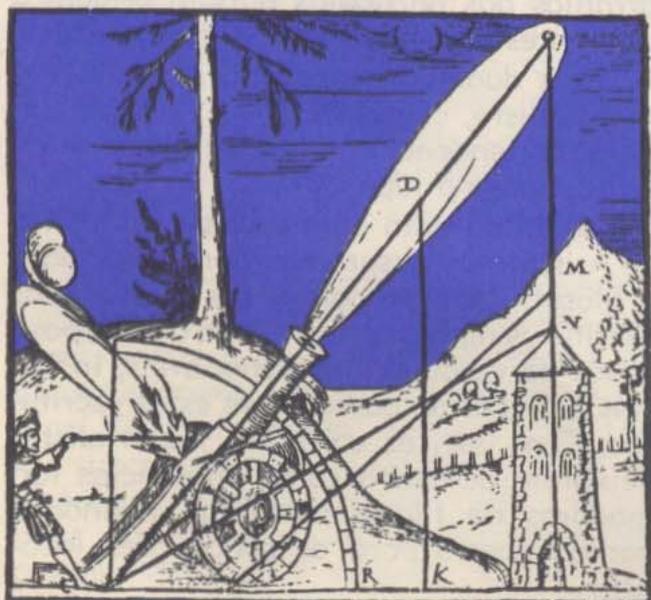
O ponto de vista materialista teve seu ponto mais alto na teoria atômica de Demócrito; segundo tal teoria, as substâncias seriam originadas a partir das combinações de um número praticamente infinito de partículas fundamentais indivisíveis, chamadas **átomos** (a-tomos = não divisível). Essas partículas, 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, **acompanhado 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.



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.

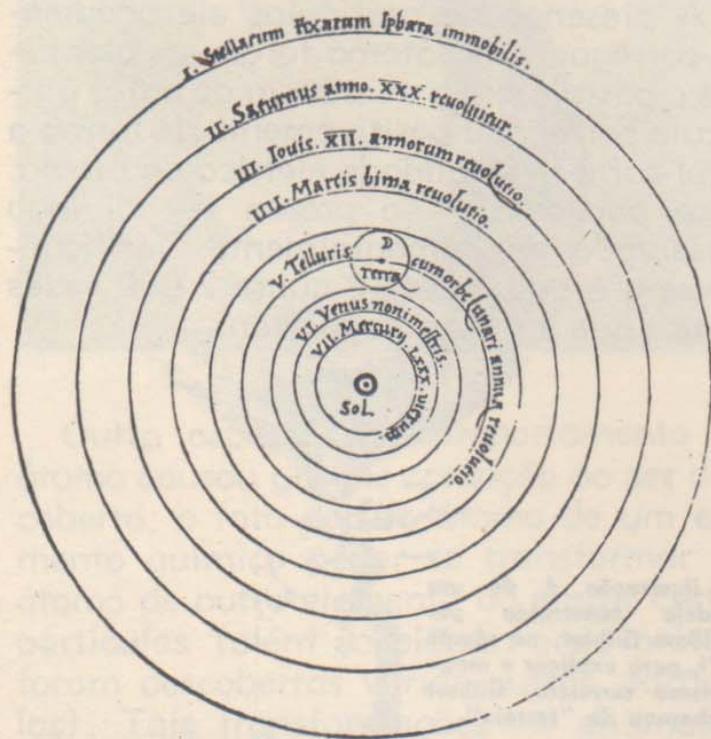
Além disso, os antigos filósofos naturais não sentiam necessidade de submeter seus resultados a testes experimentais mais profundos: bastava-lhes a autoridade dos textos tradicionais e uma concordância superficial com os fatos observados para que eles aceitassem uma teoria.

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.



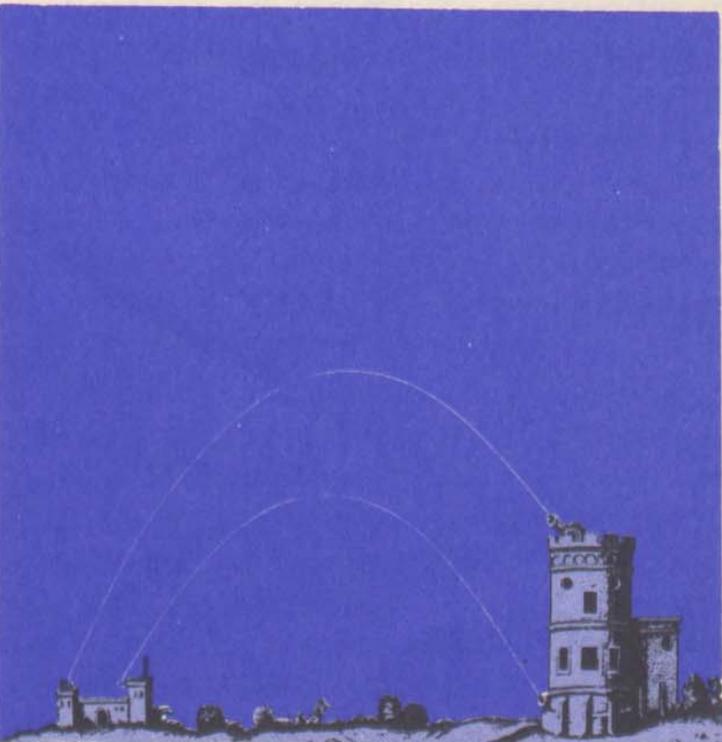
modernas procuram ter um caráter tão objetivo quanto possível, descrevendo uma realidade que é suposta independente do observador.

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.

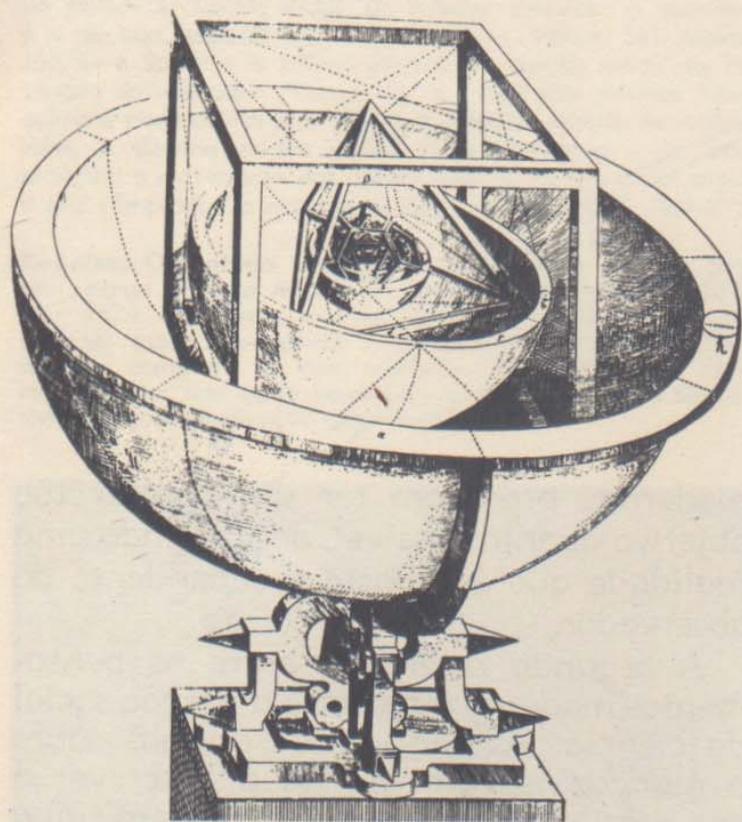
Dessa maneira, mesmo que idéias antigas — como o atomismo de Demócrito e as concepções indianas — se assemelhem a concepções atuais, a semelhança é apenas superficial, pois as duas maneiras de ver o Universo são inteiramente distintas.

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



Curioso desenho publicado na primeira obra (1596) do grande astrônomo Johannes Kepler (1571-1630), discípulo de Tycho Brahe. Kepler, que era místico, neste desenho procurou ilustrar sua concepção da harmonia do Universo, comparando os raios das órbitas dos planetas aos raios de esferas circunscritas em poliedros regulares.

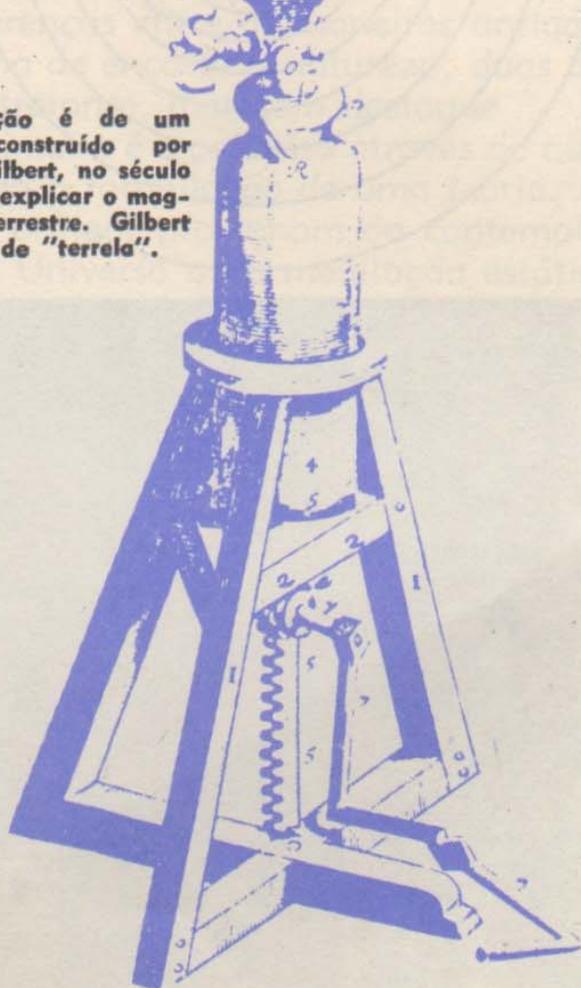


Mendelejeff publicou sua tabela periódica dos elementos (1850).

Nessa época, o átomo era considerado indivisível, como o fizera Demócrito. Nas últimas décadas do século XIX, no entanto, tornou-se evidente que os átomos são capazes, em certas condições, de emitir e absorver radiações eletromagnéticas, tanto visíveis (luz) quanto invisíveis (raios X, por exemplo). Observou-se também que o átomo pode emitir subpartículas carregadas com carga elétrica negativa, de massa milhares de vezes menor que a dos átomos. Tais partículas foram chamadas **elétrons** por seu descobridor, o físico inglês J. J. Thomson.

A presença de partículas eletricamente carregadas no átomo forçou os cientistas a postularem a existência de outra partícula carregada positivamente de forma a explicar a neutralidade elétrica do átomo. Essa partícula — o próton — foi logo observada experimentalmente, verificando-se que sua massa é quase 2 000 vezes maior que a massa do elétron.

A ilustração é de um modelo construído por William Gilbert, no século XVI, para explicar o magnetismo terrestre. Gilbert o chamou de "terrela".



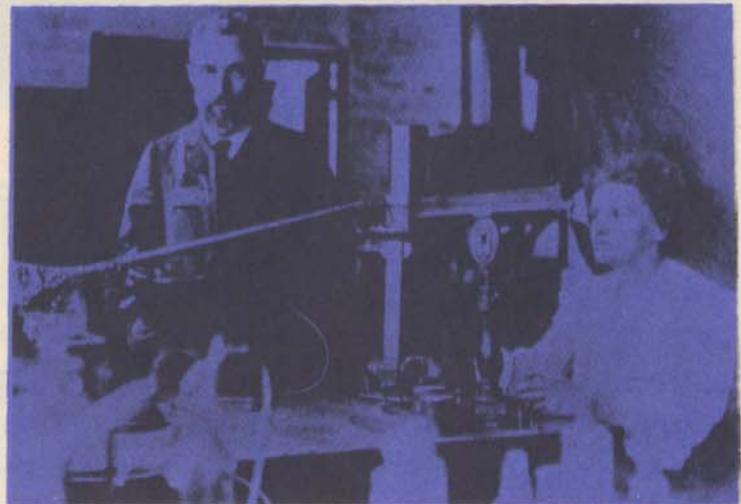
dizer que nossas concepções sobre a constituição da matéria somente adquiriram uma base mais firme no início do século XX. No entanto, já no século XVII Evangelista Torricelli, um discípulo de Galileu, realizava na Itália uma série de experiências com barômetros e bombas hidráulicas, mostrando que, ao contrário daquilo que Aristóteles afirmava, é possível estabelecer vácuo em um recipiente. Abria-se assim o caminho para a retomada das idéias sobre um átomo que se move no vácuo, sob uma nova forma.

Na época da Revolução Francesa, pesquisas realizadas na área da Química levaram Antoine Lavoisier e outros a formularem as primeiras leis sobre as combinações químicas. O trabalho pioneiro desses cientistas e seus sucessores permitiu estabelecer que todas as substâncias sólidas, líquidas e gasosas são formadas por combinações de um pequeno número de elementos básicos. A evolução da Química permitiu a descoberta de todos esses elementos e a determinação de suas propriedades. O ponto mais alto dessa fase foi alcançado quando o químico russo Dimitri



**À esquerda:** A utilização dos raios X na Medicina é hoje muito importante. A figura mostra uma de suas inúmeras aplicações.

**Abaixo:** Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934). Por suas contribuições à ciência, Marie Curie recebeu dois Prêmios Nobel. Em 1903, ela, seu marido e Becquerel (1852-1908) receberam o Prêmio Nobel de Física. Em 1911, ela recebeu o Prêmio Nobel de Química. Esse prêmio em ciência é considerado a mais alta condecoração que um cientista pode receber. Até hoje só mais um cientista, além dela, o recebeu duas vezes. A descoberta do rádio deu à Medicina uma nova arma no combate ao câncer. Marie Curie, no entanto, morreu de leucemia, causada, talvez, pelo fato de ter recebido doses excessivas de radiação durante suas pesquisas.



Outro aspecto do comportamento do átomo causou grande comoção ao ser descoberto: o fato de um átomo de um elemento químico poder se transformar no átomo de outro elemento ao emitir certas partículas (além do elétron e do próton, foram descobertas várias outras partículas). Tais transformações — chamadas **radioativas** por terem sido observadas inicialmente no elemento rádio — foram estudadas pelo casal Marie e Pierre Curie e por Ernest Rutherford, no início deste século.

Todas estas descobertas tornaram cada vez mais claro que o átomo, ao contrário do que se pensava, não é nem indivisível, nem simples, nem imutável.

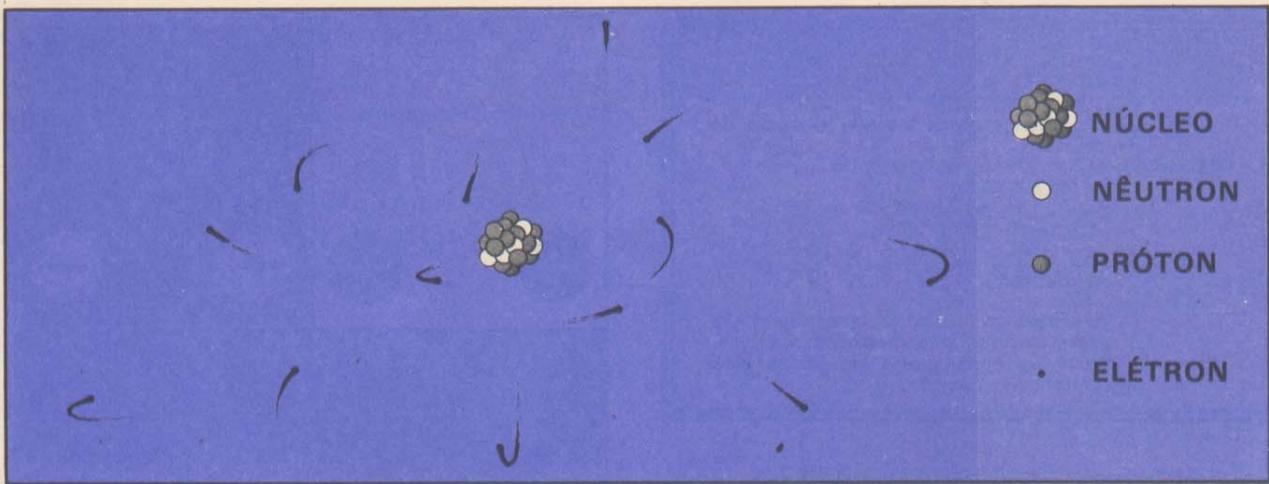
Devido ao seu tamanho diminuto, é impossível ver o átomo, mesmo com os mais potentes microscópios; assim, as evidências físicas e químicas a respeito de sua constituição somente podem ser alcançadas por via indireta. Para usar uma analogia, estudar o átomo é como tentar descrever um objeto coberto por uma toalha empregando apenas o tato.

Devido a essa dificuldade, o átomo pode apenas ser descrito através da utilização de **modelos** teóricos. Tais modelos, formulados a partir de observações experimentais, são construídos para explicar um certo conjunto de fenômenos observados. Existem assim muitos modelos do átomo, cada qual mais adequado para a descrição de certa classe de fenômenos. Não existe um modelo único para o átomo; isto é, nenhuma das teorias existentes sobre a constituição atômica é capaz de fornecer uma explicação satisfatória para todos os fenômenos atômicos conhecidos.

O primeiro modelo atômico, concebido por J. J. Thomson, descrevia o átomo como uma espécie de gelatina positivamente carregada, na qual flutuariam os elétrons, em número suficiente para neutralizar a carga positiva.

Esse modelo, no entanto, logo se revelou inconsistente com certas experiências, realizadas por Rutherford: ele observou que o átomo deveria ter uma estrutura semelhante à do sistema solar, com toda sua carga positiva e quase toda a massa concentrada em um pequeno núcleo central,





- Q1** — Qual é maior: a massa do próton ou a massa do elétron?
- Q2** — Um átomo de prata (Ag) possui 47 prótons e 61 nêutrons em seu núcleo, além de 47 elétrons em torno do núcleo.
- quanto vale a massa total dos elétrons do átomo de prata?
  - quanto vale a massa do núcleo desse átomo?
  - qual a relação entre a massa do núcleo e a massa dos elétrons?
- Q3** — Tendo em mente as respostas da questão anterior, onde se pode dizer que esteja concentrada a maior parte da massa do átomo de prata?

Veja as respostas da **Q1** à **Q3** na página 1-10.

A carga elétrica das partículas subatômicas pode aparecer sob duas formas, positiva (+) e negativa (-). Por convenção aceita universalmente, a carga dos elétrons é considerada negativa (-), e a dos prótons, positiva (+). Os nêutrons não possuem carga: são eletricamente neutros. Mas átomo que se encontra em seu estado natural tem carga elétrica nula; ora, como o número de prótons é igual ao número de elétrons, dizemos então que há cancelamento entre as cargas positivas dos prótons ( $p^+$ ) e as cargas negativas dos elétrons ( $e^-$ ).

## RESPOSTAS

**R<sub>1</sub>** -

**R<sub>2</sub>** -

**R<sub>3</sub>** -

R1 —  $m_p = 1,7 \cdot 10^{-24} \text{g}$ ;  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{g}$   
 $9,1 \cdot 10^{-28} \text{g} = 0,00091 \cdot 10^{-24} \text{g}$   
 $1,7 \cdot 10^{-24} \text{g} > 0,00091 \cdot 10^{-24} \text{g}$ ; logo, a massa do próton é maior do que a massa do elétron.

R2 — a)  $M_e = 47 \times 9,1 \cdot 10^{-28} \text{g} = 427,7 \cdot 10^{-28} \text{g}$   
 b)  $M_{\text{núcleo}} = m_p \times 47 + m_n \times 61$   
 $M_{\text{núcleo}} = 183,6 \cdot 10^{-24} \text{g}$

c)  $\frac{M_{\text{núcleo}}}{M_{\text{elétrons}}} = \frac{183,6 \times 10^{-24}}{427,7 \times 10^{-28}} \cong \cong 4,3 \times 10^3$

A massa do núcleo é cerca de 4000 vezes maior que a massa dos elétrons.

R3 — A maior parte da massa do átomo está concentrada no núcleo.

Observa-se, experimentalmente, que partículas com cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, e que partículas com cargas elétricas de sinais opostos se atraem (figura 2).

**Q4** — Indique, em cada caso, se há força de atração ou de repulsão entre as partículas:

- próton ( $p^+$ ) e próton ( $p^+$ );
- próton ( $p^+$ ) e elétron ( $e^-$ );
- elétron ( $e^-$ ) e elétron ( $e^-$ ).

Entre dois prótons há, então, força de repulsão elétrica. Ou seja, se dois prótons são colocados próximos entre si, e se não estiver agindo nenhuma outra força entre eles, esses dois prótons afastar-se-ão um do outro.

**Q5** — Por que o núcleo atômico, que é constituído de prótons (carga elétrica positiva) e de nêutrons (neutros), pode manter-se coeso apesar da repulsão elétrica que há entre os prótons?

**Q6** — Que forças agem sobre os elétrons de um átomo?

O fato de que há forças de atração ou de repulsão entre duas partículas eletricamente carregadas pode ser verificado facilmente. Explicações mais profundas sobre o porquê desse fato estão ainda hoje sendo investigadas por cientistas de todo o mundo. Se bem que já se saiba como se dão estas interações, muito ainda falta a aprender; uma teoria completamente satisfatória da Eletricidade ainda não foi criada.

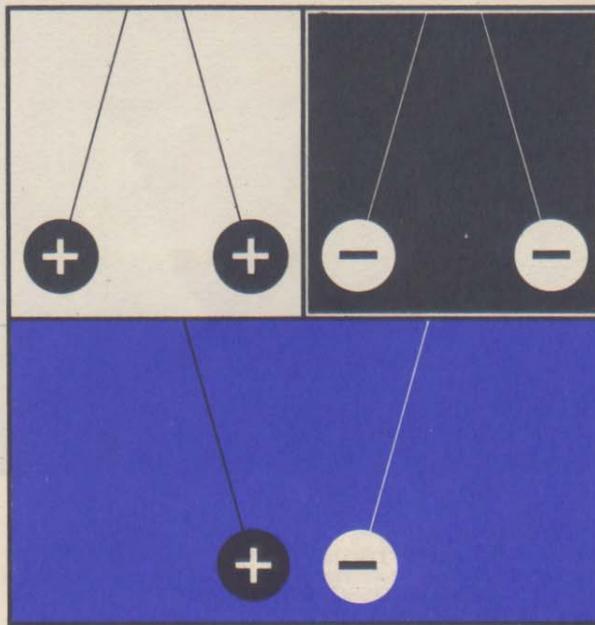


figura 2

Dissemos que os prótons de um átomo ficam todos reunidos, juntamente com os nêutrons, no núcleo atômico. Como harmonizar os dois fatos? A resposta é que, no núcleo, além da repulsão elétrica, há forças atrativas agindo entre as partículas. Tais forças, chamadas **forças nucleares**, são de intensidade muito maior que as forças elétricas. Estas forças só agem com grande intensidade quando a distância entre os dois prótons é muito pequena; a grandes distâncias são completamente desprezíveis. Assim, dois prótons se atraem quando muito próximos e se repelem quando afastados. São as forças nucleares que mantêm a coesão do núcleo.

As forças nucleares aparecem também entre dois nêutrons, e entre um nêutron e um próton. No entanto, não há forças nucleares entre o núcleo e os elétrons; neste caso há apenas atração elétrica.

ELEMENTO	número de elétrons por camada						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
C	2	4					
O	2	6					
Al	2	8	3				
K	2	8	8	1			
Ni	2	8	16	2			
Cu	2	8	18	1			
Ag	2	8	18	18	1		
Au	2	8	18	32	18	1	
U	2	8	18	32	21	9	2
camada	I	II	III	IV	V	VI	VII

tabela 1

## 2. Elétrons de valência e número atômico

- Q7 — Segundo o modelo atômico com o qual estamos trabalhando, que partículas constituem o núcleo atômico?
- Q8 — Em que região do átomo se distribuem os elétrons?
- Q9 — Num átomo em estado neutro, o número de prótons que há no núcleo é (indique a afirmação correta):
- igual ao número de elétrons;
  - maior que o número de elétrons;
  - menor que o número de elétrons.

O número de prótons que há no núcleo de um átomo é chamado **número atômico** desse átomo. É esse número que caracteriza o átomo como o de um determinado elemento. Assim, cada elemento possui um único número atômico, e os átomos com o mesmo número atômico pertencem ao mesmo elemento.

Estudos detalhados de átomos que possuem muitos elétrons mostraram que neles os elétrons não se distribuem ao acaso em torno do núcleo; os elétrons se dividem em camadas. Cada camada está a uma distância diferente do núcleo.

Nos átomos mais complexos há sete dessas camadas (numeradas de I a VII).

A tabela 1 dá a distribuição dos elétrons nas diversas camadas de alguns átomos.

De todas as camadas eletrônicas de um átomo, a mais importante, do ponto de vista químico, é a mais externa, chamada **camada de valência**. Veremos, um pouco adiante, que essa camada é também a mais importante para o estudo das propriedades elétricas da matéria.

- Q10 — Quantos elétrons existem na camada de valência do níquel? E na do cobre?

Veja as respostas da Q4 à Q10 na página 1-12.

Os elétrons que se encontram nas camadas mais internas estão mais próximos

## RESPOSTAS

R<sub>4</sub> -

R<sub>5</sub> -

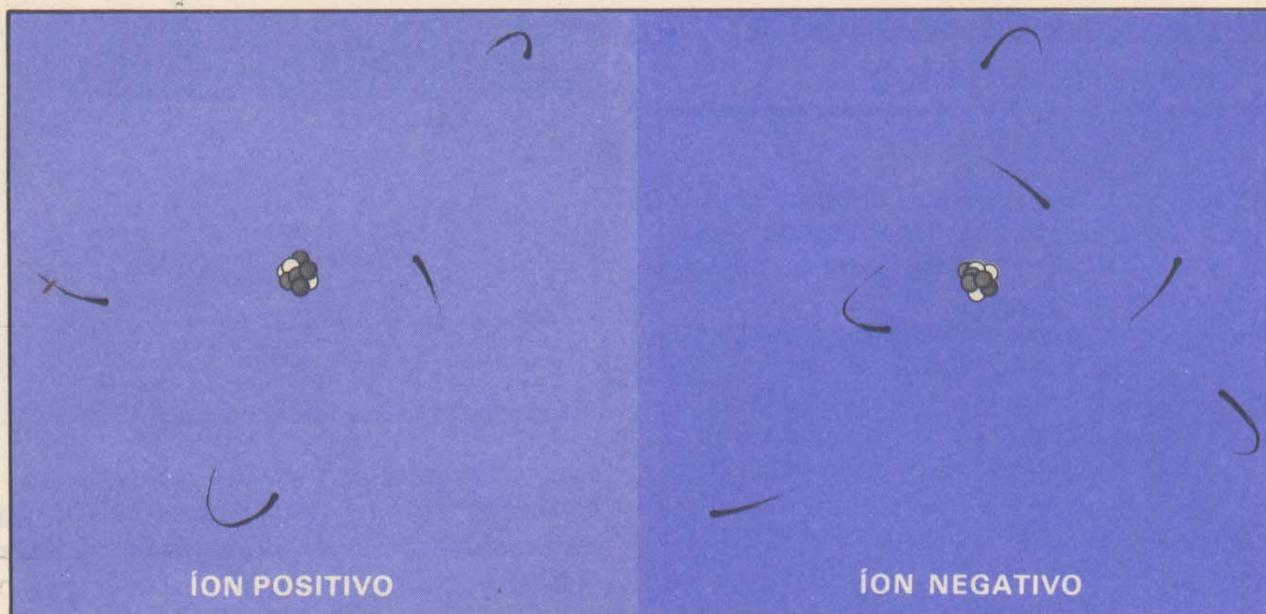
R<sub>6</sub> -

R<sub>7</sub> -

R<sub>8</sub> -

R<sub>9</sub> -

R<sub>10</sub> -



ÍON POSITIVO

ÍON NEGATIVO

R4 — a) Repulsão; b) Atração; c) Repulsão.

R5 — O núcleo atômico se mantém coeso graças às forças nucleares atrativas, que são de intensidade bem maior do que as forças elétricas de repulsão. Ver quadro da pág. 1-10.

R6 — Sobre os elétrons de um átomo agem a força atrativa do núcleo e a força repulsiva dos outros elétrons.

R7 — Os prótons e os nêutrons.

R8 — Os elétrons se distribuem em torno do núcleo.

R9 — a) Igual ao número de elétrons.

R10 — Níquel — 2 elétrons; cobre — 1 elétron.

do núcleo, e assim sofrem uma força atrativa mais intensa do que os elétrons das camadas externas. Em outras palavras, a força com que o núcleo atrai os elétrons é maior para os elétrons das camadas mais internas.

Além disso, os elétrons das camadas mais internas repelem àqueles das camadas mais externas, de forma que a força total que age sobre estes últimos é ainda menor — isto é, a resultante da força atrativa do núcleo e da força repulsiva dos elétrons mais internos — por isso é muito mais fácil remover um elétron da camada de valência do que de uma camada interna. Nos fenômenos elétricos, os elétrons de valência são os mais importantes.

1-12

### 3. Ionização

O número de elétrons que há em um átomo não é imutável: ele pode perder elétrons ou adquirir mais elétrons. Neste caso deixa de ser um átomo eletricamente neutro e passa a chamar-se **íon**.

O processo pelo qual o átomo perdeu ou ganhou elétrons, transformando-se em íon, chama-se **ionização**.

Até agora falamos apenas do átomo e da distribuição eletrônica no átomo. Passamos agora a um nível um pouco superior: o das moléculas.

Da mesma forma que os átomos, as moléculas também podem ser ionizadas, ou seja, podem ganhar ou perder elétrons. E, num nível ainda superior, os corpos macroscópicos também podem ser submetidos a processos através dos quais se acrescentam ou retiram elétrons a eles. Neste caso, não mais se fala em ionização, mas em **eletrização**. Um corpo cujos átomos têm falta de elétrons se diz **positivamente eletrizado**; um corpo cujos átomos têm excesso de elétrons se diz **negativamente eletrizado**.

Os corpos eletrizados apresentam os mesmos fenômenos de atração e repulsão elétrica que aparecem quando se tratam de partículas carregadas.

## 4. Eletrização

Há muitas maneiras de eletrizar um corpo que inicialmente se encontra eletricamente neutro. Uma delas é o atrito.

A eletrização por atrito já era conhecida por volta do ano 1600 a.C., quando viveu Tales de Mileto (assim chamado por ter nascido na cidade grega de Mileto, na Ásia Menor). Esse filósofo observou que, quando atritava um pedaço de âmbar\* contra uma pele de animal, o âmbar passava a atrair objetos leves, como, por exemplo, pedacinhos de palha e pequenas sementes.

Você pode repetir esta experiência esfregando um pente ou uma caneta de plástico nos cabelos ou em um pedaço de lã, aproximando depois o objeto de pedacinhos de papel (figura 3). Você observará que os pedaços de papel serão atraídos pelo pente ou caneta. Observe que, neste caso, os pedacinhos de papel não estão necessariamente eletrizados; na próxima seção será explicado por que se estabelece uma força de atração entre um corpo eletricamente neutro e outro, carregado.

Quando se esfregam dois corpos entre si (como no caso do pente com os cabelos), ambos ficam eletrizados, um negativa e outro positivamente.

Isso se deve ao fato de que, no processo de esfregar, há transferência de elétrons de um corpo a outro, transferência esta feita às expensas da energia muscular de quem esfrega. Em outras palavras, ao esfregar um corpo contra o outro fornece-se energia a ambos, energia esta que, em parte, é utilizada para extrair elétrons de um dos corpos, que se torna positivamente eletrizado. Tais elétrons passam então ao outro corpo, que fica negativamente eletrizado.

O fato da energia fornecida através do ato de esfregar ser capaz de extrair elétrons de um corpo ou de outro depende da estrutura atômica desses corpos; o corpo em cujos átomos os elétrons de valên-

\* ÂMBAR — Seiva que escorre de certas árvores e, por fossilização, se transforma em um sólido semitransparente e quebradiço, variando de cor, do amarelo ao castanho.

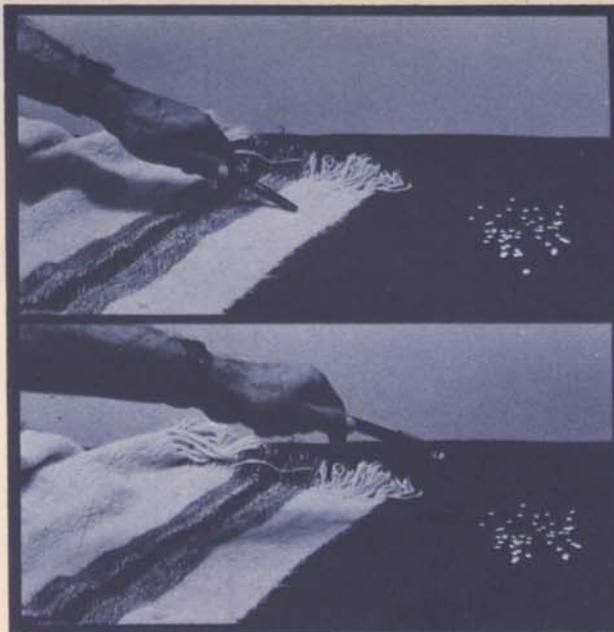


figura 3

cia estão mais fracamente ligados ao núcleo é que cederá os elétrons ao outro.

Quando se eletriza negativamente um corpo, os elétrons cedidos a esse corpo não se distribuem ao acaso; por efeito das forças de repulsão que se estabeleceram entre os elétrons, a disposição é tal que a distância média entre os elétrons é a maior possível. Esse estado é chamado **equilíbrio eletrostático**; se novos elétrons são introduzidos no corpo (ou se são retirados elétrons), o equilíbrio eletrostático se rompe e os elétrons se redistribuem, de forma que o corpo atinge um novo estado de equilíbrio eletrostático.

Uma forma de alterar o equilíbrio eletrostático de um corpo eletricamente carregado é ligar esse corpo a um outro, de forma que possa haver transferência de elétrons de um a outro. Nesse processo de transferência, ocorre um movimento ordenado de elétrons. Esse movimento se dá numa situação que não é mais estática e que será discutida mais adiante.

O estudo da eletrização por atrito desenvolveu-se muito durante o século XVIII; por volta de 1750, "máquinas elétricas", como eram chamadas, faziam sucesso nos salões elegantes. Além de simples curiosidade, tais "máquinas", que se baseavam no armazenamento de eletricidade gerada por atrito, constituíam prati-

## 5. A indução elétrica

Funcionamento de um gerador Van de Graaff: Uma correia de borracha é feita girar entre duas polias por meio de uma manivela (ou motor como no caso); a polia inferior é revestida de flanela. O atrito existente entre a flanela e a correia de borracha faz com que esta última perca elétrons, eletrizando-se positivamente.

Com o movimento da correia, a região positiva desta é levada para o alto, onde, através de uma ponte metálica, recebe elétrons de uma esfera também metálica. Com isso, a esfera fica eletrizada positivamente; como o processo é contínuo, pode-se eletrizar a esfera com uma carga bastante elevada.

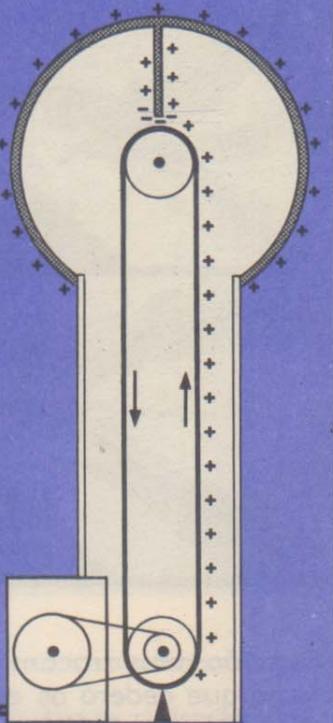


figura 4

camente o único instrumento de pesquisa sobre a eletricidade disponível na época.

No século seguinte (1890), Lord Kelvin projetou — mas não pôde construir — uma "máquina elétrica" de grande porte, capaz de armazenar quantidades muito grandes de eletricidade. Foi apenas em 1931 que o físico R. J. Van de Graaff construiu uma máquina desse tipo. Em sua homenagem, o aparelho se chama gerador Van de Graaff. Tal gerador foi o primeiro dos grandes aceleradores utilizados na pesquisa nuclear. Atualmente, apesar de existirem outros tipos de aceleradores, este continua sendo utilizado em centros de pesquisa no estudo da estrutura dos núcleos dos átomos.

1-14

Observamos anteriormente que um corpo eletrizado positiva ou negativamente é capaz de atrair corpos em estado neutro; como explicar esse fato?

Um corpo eletricamente neutro possui um número igual de prótons e de elétrons. Quando aproximamos esse corpo de outro, positivamente eletrizado, e **sem que haja contato entre os dois**, as cargas do corpo neutro sofrem ações devidas à presença do corpo eletrizado. Como cargas de sinais opostos se atraem, os elétrons do corpo neutro tendem a se aproximar do corpo carregado; assim, um certo número de elétrons se aproxima da superfície do corpo neutro que está mais próxima do carregado. Como consequência, nas regiões do corpo neutro que estão mais afastadas do corpo carregado aparecem cargas positivas, ou seja, cargas que anteriormente eram neutralizadas pelos elétrons que se deslocaram (figura 5).

Como consequência da maior concentração de elétrons na superfície mais próxima ao corpo positivamente eletrizado surge entre os dois corpos uma força de atração (figura 5). É por esse motivo que, quando você passa um pente pelos cabelos, e depois o aproxima de pedacinhos de papel **não eletrizados**, eles são atraídos pelo pente.

A esse processo de separação entre as cargas positivas e negativas, em um corpo eletricamente neutro, quando dele se aproxima um corpo carregado, dá-se o nome de **indução elétrica**.

Para observar melhor o efeito da indução elétrica, vamos fazer uma experiência simples.

Coloque a ponta de um fio de algodão (linha de cerzir), ou de um fio de cabelo sobre um pequeno pedaço de papel de alumínio (que pode ser retirado da embalagem de um maço de cigarros, ou de um bombom). Amasse o papel formando uma bolinha e suspenda-a pelo fio.

Segure a extremidade livre do fio e aproxime a bolinha de um pente ou caneta plástica, não eletrizados.

**Q11** — Pode haver indução elétrica entre dois corpos eletricamente neutros que são aproximados entre si?

Eletrize o pente passando-o pelos cabelos **secos**; volte a aproximar a bolinha do pente.

**Q12** — Há indução entre o pente e a bolinha?

Mantendo a bolinha suspensa pelo fio, sem tocar em nada, repita a operação de eletrizar o pente, aproximando-o da bolinha. Deixe que a bolinha entre em contato com o pente.

**Q13** — Depois do contato com o pente, a bolinha fica eletrizada? Por quê?

Veja as respostas da **Q11** à **Q13** na página 1-20.

Dos resultados da experiência que você acabou de fazer é possível então concluir que um corpo pode ser eletrizado (como a bolinha) sem necessidade de ser esfregado.

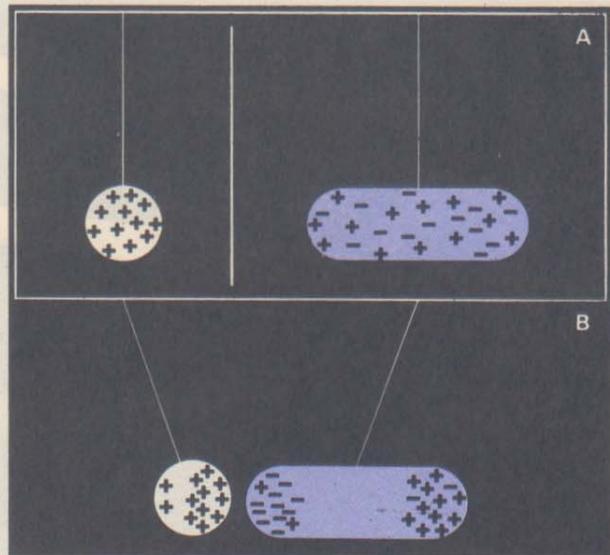


figura 5

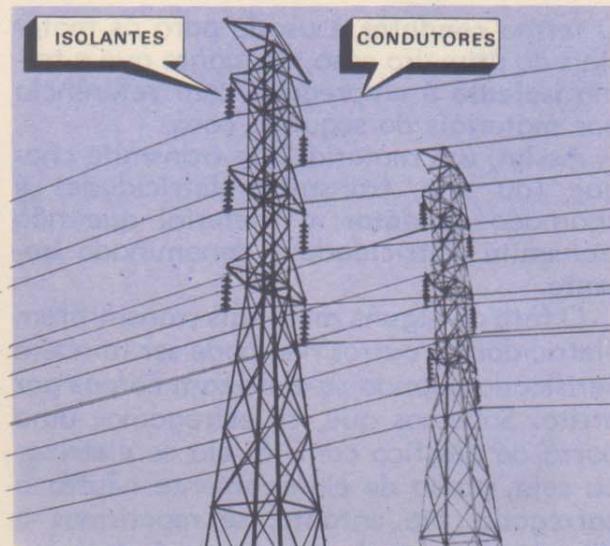


figura 6

## 6. Condutores e isolantes

Quem ainda não passou pela experiência desagradável de levar um choque ao lidar com tomadas ou aparelhos elétricos? O fato é tão corriqueiro que quase todo mundo conhece o significado dos termos **condutor** e **isolante**; ao tocarmos um fio elétrico desencapado com um objeto metálico, o efeito é o mesmo que se tivéssemos tocado o fio diretamente com as mãos; por outro lado, tocando o fio com objetos de madeira seca, borracha ou matéria plástica, não levamos o choque (figura 6).

## RESPOSTAS

**R<sub>11</sub>** -

**R<sub>12</sub>** -

**R<sub>13</sub>** -

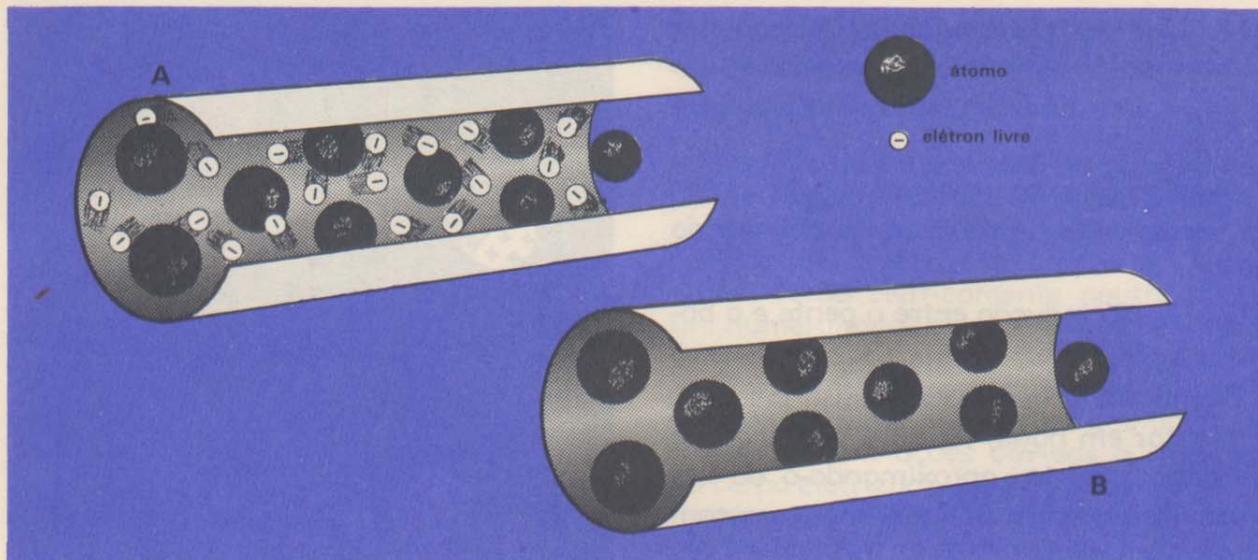


figura 7

O termo **condutor** é usado para os materiais do primeiro caso, enquanto que o termo **isolante** é empregado com referência aos materiais do segundo caso.

Assim, um material que transmite choque (ou seja, transmite eletricidade) é chamado **condutor**; o material que não transmite eletricidade é denominado **isolante**.

O fato de alguns materiais transmitirem eletricidade e outros não pode ser também verificado quando se eletrizam corpos por atrito. Sabemos que, se esfregamos uma barra de plástico com lã, ela se eletriza; ou seja, passa de eletricamente neutra a carregada. No entanto, se repetirmos a experiência usando uma barra de ferro ou de qualquer outro metal, não conseguiremos notar nenhuma modificação no estado de eletrização da barra: ela permanecerá eletricamente neutra após ter sido esfregada. Isso se deve ao fato de que a barra de ferro perde as cargas elétricas com a mesma rapidez com que as recebe.

As diferenças de comportamento elétrico dos materiais sólidos, ou seja, a maior ou menor facilidade com que são percorridos pela eletricidade, podem ser explicadas pelas diferenças de suas estruturas atômicas.

Para o estudo da eletricidade, os sólidos podem ser classificados em metais ou condutores e não-metals ou isolantes. Existem também materiais chamados **semicondutores**, que se comportam ora como

condutores, ora como isolantes, dependendo das condições a que estão submetidos.

Os átomos dos metais possuem um ou dois (às vezes três) elétrons de valência, ou seja, elétrons fracamente ligados ao núcleo. Além disso, os átomos dos metais estão dispostos de tal maneira que alguns ou todos os seus elétrons de valência dos átomos se desligam, ficando livres para circular ao acaso entre os átomos das vizinhanças. Tais elétrons são chamados **elétrons livres** (figura 7-A); a eles cabe um papel primordial no fenômeno da condução elétrica.

Já no caso dos materiais isolantes, os elétrons de valência dificilmente se desligam de seus átomos, ficando a eles presos (figura 7-B). Desta maneira nos isolantes não há elétrons livres.

A presença de elétrons livres em grande quantidade nos metais explica por que uma barra metálica perde rapidamente os elétrons que venha a ganhar por processos de eletrização: os elétrons têm muita facilidade em se escoar através da mão de quem faz a experiência, ou através do suporte no qual esteja presa. Na barra de material isolante, pelo contrário, os elétrons adquiridos não têm facilidade de se mover por entre os átomos, permanecendo em posições mais ou menos fixas e contribuindo para eletrizar a barra.

Vamos agora repetir a experiência anterior, desta vez usando duas bolinhas, uma suspensa por um fio de algodão e

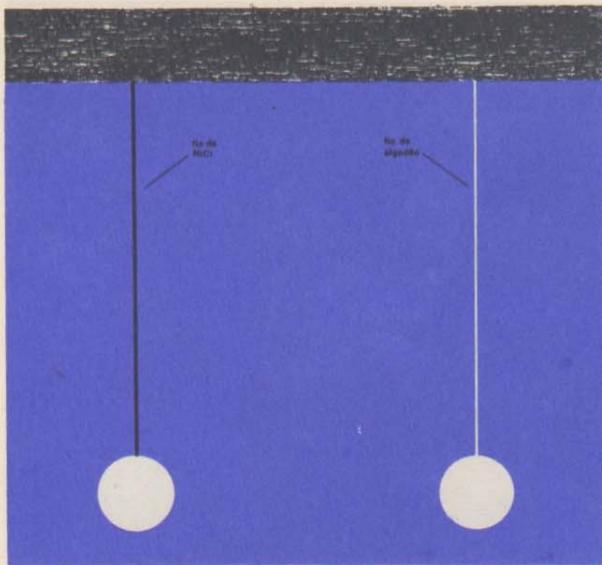


figura 8

outra por um fio metálico bem fino (que pode ser de níquel-cromo ou de cobre não esmaltado).

Prenda os dois fios num suporte qualquer, de modo a deixar as bolinhas suspensas como pêndulos (figura 8).

Eletrize um pente por atrito, encostando-o na bolinha suspensa pelo fio de algodão.

**Q14** — O que acontece com a bolinha depois do contato com o pente?

Encoste o pente na bolinha suspensa pelo fio metálico. Eletrize novamente o pente e torne a encostá-lo nessa bolinha.

**Q15** — Qual é a diferença entre os comportamentos das duas bolinhas?

**Q16** — Lembrando o que foi dito sobre materiais condutores e isolantes, você pode dizer que o fio de algodão é um condutor ou um isolante? E quanto ao fio de níquel-cromo?

**Q17** — Utilizando a resposta da questão anterior, tente explicar o comportamento das duas bolinhas na experiência.

Veja as respostas da **Q14** à **Q17** na página 1-20.

No próximo capítulo, estudaremos outras propriedades dos corpos eletrizados.

## RESPOSTAS

**R<sub>14</sub>** -

**R<sub>15</sub>** -

**R<sub>16</sub>** -

**R<sub>17</sub>** -

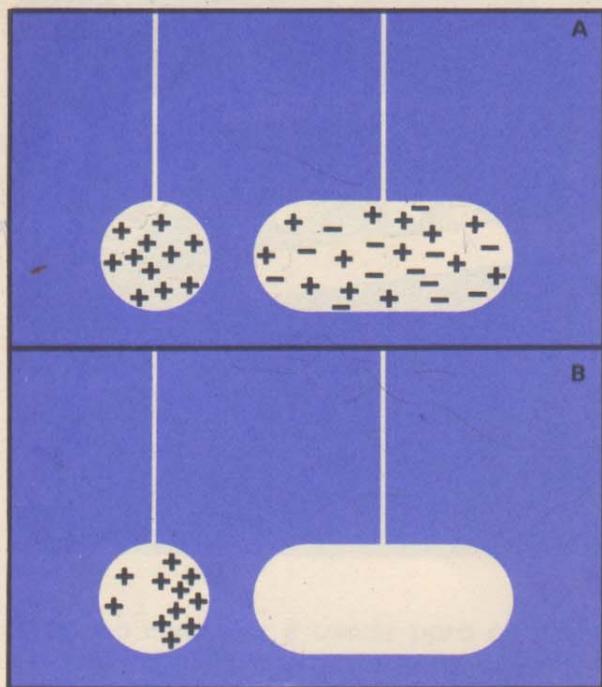


figura 9

## 7. Exercícios de aplicação

- E1** — Quais as partículas que constituem o átomo e como elas se distribuem?
- E2** — O que significa dizer que um átomo está **no estado natural**?
- E3** — Partículas com cargas elétricas de mesmo sinal se atraem ou se repelem? E partículas com cargas de sinais diferentes?
- E4** — O número atômico de um átomo nos diz quantos \_\_\_\_\_ existem nesse átomo.
- E5** — Como se distribuem os elétrons em torno do núcleo?
- E6** — Em um átomo, qual a camada de elétrons mais importante para o estudo das propriedades elétricas?
- E7** — Um átomo que perde um ou mais elétrons se torna um \_\_\_\_\_; um átomo que captura um ou mais elétrons se torna \_\_\_\_\_.

1-18

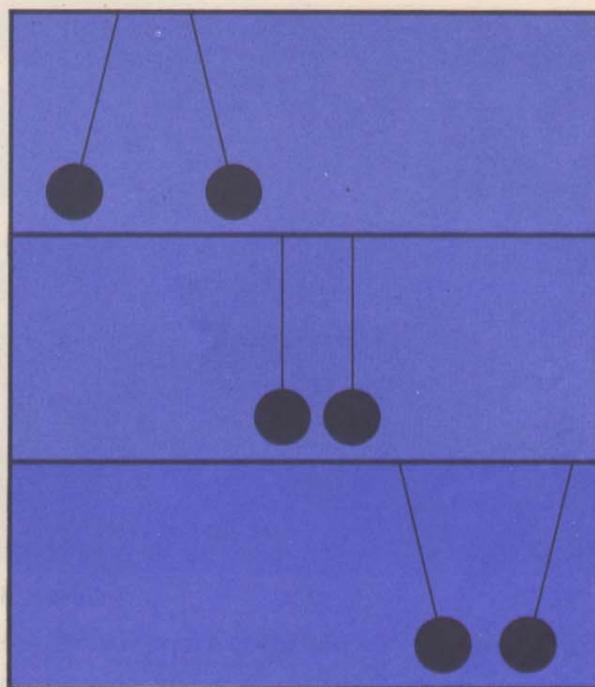


figura 10

- E8** — O que você entende por **equilíbrio eletrostático**?
- E9** — Na figura 9-A, um corpo eletrizado está sendo aproximado de um corpo eletricamente neutro. Indique, na figura 9-B, qual a carga induzida.
- E10** — A figura 10 mostra três situações envolvendo pêndulos eletrostáticos. Quais são, em cada caso, os sinais das cargas dos pêndulos?
- E11** — Um metal pode ser eletrizado e permanecer eletrizado durante muito tempo, quando em contato com sua mão?
- E12** — Como se classificam os sólidos para o estudo da Eletricidade?
- E13** — Por que certos elétrons são chamados elétrons livres?
- E14** — Nos isolantes existem elétrons livres? Por quê?
- E15** — Dê alguns exemplos de substâncias condutoras e isolantes.

Veja as respostas dos exercícios de aplicação na página 1-20.

**RESPOSTAS  
DE EXERCÍCIOS**

**R<sub>1</sub> -**

**R<sub>2</sub> -**

**R<sub>3</sub> -**

**R<sub>4</sub> -**

**R<sub>5</sub> -**

**R<sub>6</sub> -**

**R<sub>7</sub> -**

**R<sub>8</sub> -**

**R<sub>10</sub> -**

**R<sub>11</sub> -**

**R<sub>12</sub> -**

**R<sub>13</sub> -**

**R<sub>14</sub> -**

**R<sub>15</sub> -**

O progresso científico e tecnológico da humanidade não teria sido possível sem o estudo de como os átomos se agrupam para formar a matéria.

Hoje, graças às análises por meio de raios X, sabe-se que muitos sólidos, inclusive os metais, são cristalinos, isto é, que seus átomos estão dispostos regularmente.

Este fato também é mostrado pela simetria da micrografia, vista nesta página, de uma ponta de agulha de platina de  $1,6 \times 10^{-7}$  cm de diâmetro, ampliada 750 000 vezes.

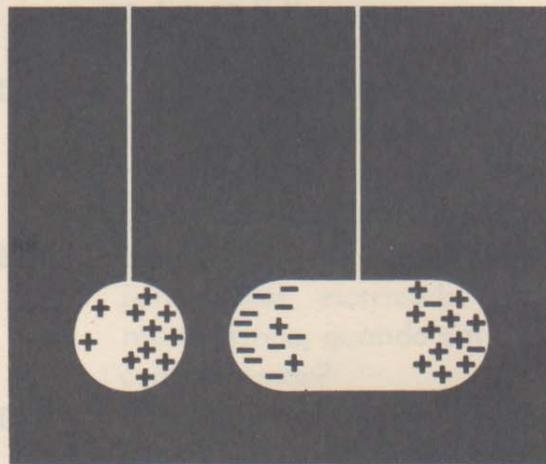
Para produzir esta figura, a agulha foi colocada em tubo hermeticamente fechado contendo gás hidrogênio, defronte de uma tela fluorescente, como de televisão, e submetida a um potencial elétrico muito alto.

Os átomos de hidrogênio, ao se aproximarem da agulha, são positivamente ionizados ao perderem um elétron, transformando-se em prótons, que são violentamente repelidos e atingem a tela numa razão de 100 000 prótons por segundo, cada um provocando um ponto luminoso e formando a imagem micrográfica.

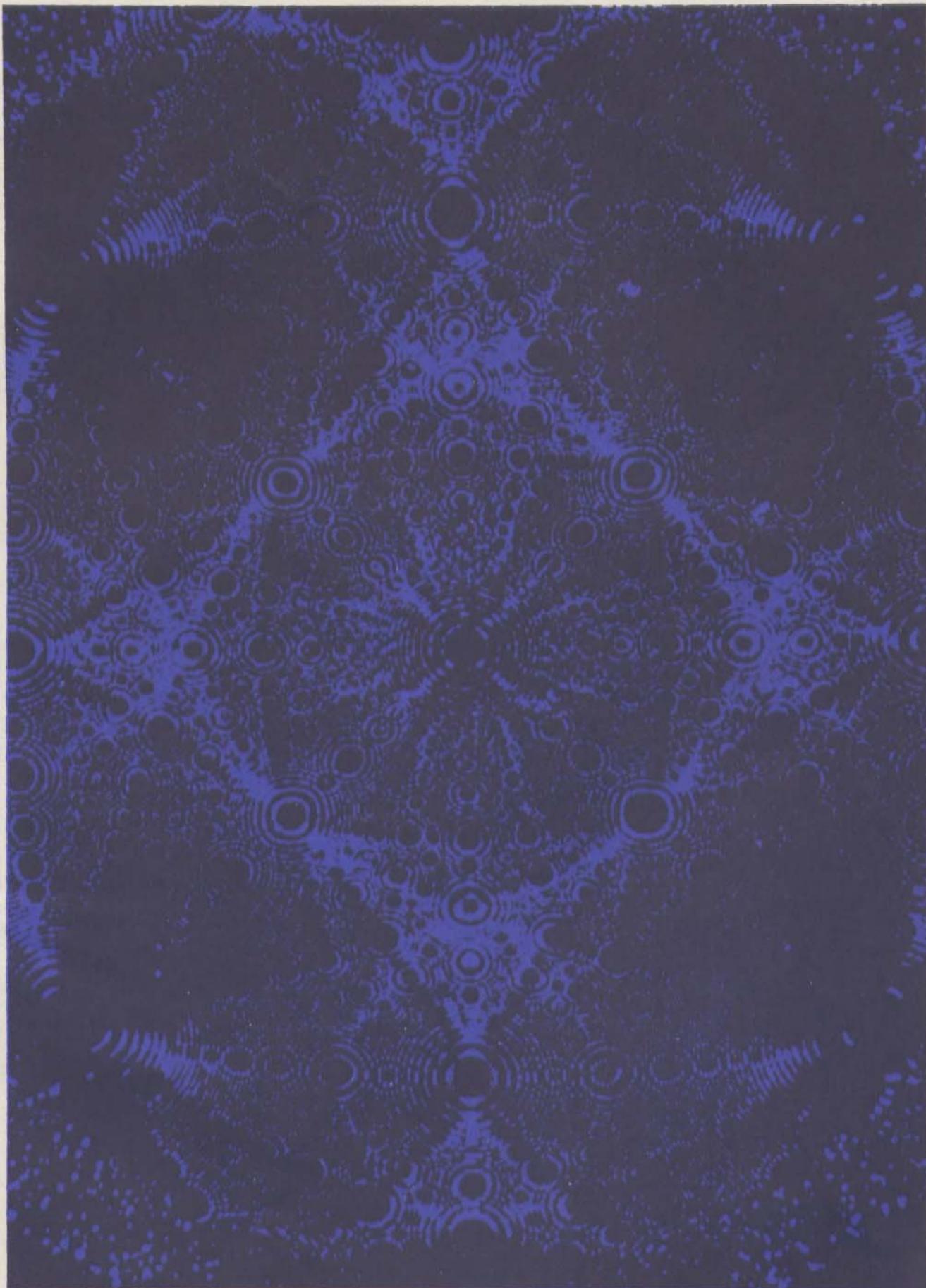
- R11 — Não.
- R12 — Sim.
- R13 — Sim. Porque, depois do contato, passa a existir repulsão elétrica entre a bolinha e o pente.
- R14 — A bolinha é sempre repelida pelo pente.
- R15 — Enquanto a bolinha suspensa pelo fio de algodão é sempre repelida pelo pente, a outra é sempre atraída.

- R16 — O fio de algodão é isolante; o fio metálico, condutor.
- R17 — Quando a bolinha suspensa pelo fio de algodão entra em contato com o pente, ela fica eletrizada com carga de mesmo sinal da carga do pente. Como o algodão é isolante, as cargas da bolinha não se escoam através do fio. No caso da bolinha suspensa pelo fio metálico, a bolinha também fica carregada, mas, sendo o fio metálico um bom condutor, as cargas da bolinha rapidamente se escoam através do fio, deixando-a novamente descarregada.

- R1 — As partículas que constituem o átomo são: os prótons, os nêutrons e os elétrons. Os prótons e os nêutrons situam-se no núcleo e os elétrons ao redor do núcleo.
- R2 — Dizemos que um átomo está em estado natural quando o número de prótons desse átomo é igual ao número de elétrons.
- R3 — Partículas elétricas com cargas de mesmo sinal se **repelem**, enquanto que partículas elétricas com cargas de sinais diferentes se **atraem**.
- R4 — .... prótons ....
- R5 — Os elétrons se distribuem em camadas ao redor do núcleo.
- R6 — A última, denominada **camada de valência**.
- R7 — .... íon positivo ....  
.... íon negativo ....
- R8 — Ao eletrizarmos um corpo, os elétrons, por efeito das forças de repulsão, se distribuem de tal modo que a distância média entre eles é a maior possível. Isto é o que se entende por equilíbrio eletrostático.
- R10 — No caso I pode ser (-) e (-) ou (+) e (+).  
No caso II, ambos estão neutros.  
No caso III pode ser (-) e (+) ou (+) e (-).
- R11 — Não. A mão é condutora e absorve a carga do metal.



- R12 — Os sólidos se classificam em condutores, semicondutores e isolantes.
- R13 — Certos elétrons são chamados de elétrons livres porque podem circular ao acaso entre os átomos do material.
- R14 — Nos isolantes não há elétrons livres, pois os elétrons dificilmente se desligam dos átomos a que estão presos.
- R15 — **Condutores:** fios metálicos.  
**Isolantes:** borracha, vidro, madeira seca.



Esta obra foi impressa pelo  
AGGS — Indústrias Gráficas S.A.  
Rua Luis Câmara, 535 — Olaria — Rio de Janeiro — RJ  
para o  
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar  
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça — Rio de Janeiro — RJ  
República Federativa do Brasil