

Nanociências

Christian Joachim
Laurence Plévert

Nanociências

A REVOLUÇÃO INVISÍVEL

Tradução:
André Telles

Revisão técnica:
Luiz Sampaio
CBPF/CNPq

 **ZAHAR**
Rio de Janeiro

Título original:
Nanosciences (La révolution invisible)

Tradução autorizada da primeira edição francesa,
publicada em 2008 por Éditions du Seuil, de Paris, França

Copyright © 2008, Éditions du Seuil

Copyright da edição brasileira © 2009:
Jorge Zahar Editor
rua México 31 sobreloja
20031-144 Rio de Janeiro, RJ
tel.: (21) 2240-0226 / fax: (21) 2262-5123
e-mail: jze@zahar.com.br site: www.zahar.com.br



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Cet ouvrage, publié dans le cadre de l'Année de la France au Brésil et du Programme d'Aide à la Publication Carlos Drummond de Andrade, bénéficie du soutien du Ministère français des Affaires étrangères. «França.Br 2009» l'Année de la France au Brésil (21 avril – 15 novembre) est organisée: em

France, par le Commissariat général français, le Ministère des Affaires étrangères et européennes, le Ministère de la Culture et de la Communication et Culturesfrance; au Brésil, par le Commissariat général brésilien, le Ministère de la Culture et le Ministère des Relations extérieures.

Este livro, publicado no âmbito do Ano da França no Brasil e do Programa de Apoio à Publicação Carlos Drummond de Andrade, contou com o apoio do ministério francês das Relações Exteriores. «França.Br 2009» Ano da França no Brasil (21 abr – 15 nov) é organizado: na França, pelo Commissariado Geral Francês, pelo Ministério das Relações Exteriores e Europeias, pelo Ministério da Cultura e da Comunicação e por Culturesfrance; no Brasil, pelo Comissariado Geral Brasileiro, pelo Ministério da Cultura e pelo Ministério das Relações Exteriores.

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação de direitos autorais. (Lei 9.610/98)

Ilustrações cedidas pelo autor
Projeto gráfico e composição: Mari Taboada
Capa: Bruna Benvegnù

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

J58n Joachim, Christian, 1957-
Nanociências: a revolução invisível / Chrsitian Joachim, Laurence Plévert; tradução André Telles; revisão técnica Luiz Sampaio. — Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2009.

Anexos
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-378-0149-9

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. 3. Inovações tecnológicas. I. Plévert, Laurence. II. Título. III. Série.

09-2363

CDD: 620.5
CDU: 620.3

SUMÁRIO

Introdução: O maravilhoso está em todos os infinitos 7

1. DESVIO DE RUMO 13

Recuperação política 15

O fim provisório do desenvolvimento industrial sustentável 21

O planeta torna-se nano 22

2. MINIATURIZAR SEMPRE E CADA VEZ MAIS 25

Um discurso fabuloso 25

Os gigantes da miniaturização 28

Do elétron à eletrônica 30

Gordon Moore se intromete 32

Uma agulha num campo de futebol 35

Os primeiros limites à miniaturização 37

Contagiosa miniaturização 39

Boas-vindas ao mundo quântico 42

Você disse mesoscópica? 46

A eletrônica de amanhã 50

O fio condutor 52

3. PERMANECER “LÁ EMBAIXO” 54

Nascimento da molécula 56

Qual é o tamanho de uma molécula? 58

O demônio de Maxwell 60

Como conectar uma molécula 63

O homem desloca um átomo 66

E, apesar de tudo, ela se move! 69

Os primeiros experimentos de nanofísica 72

A mecânica de uma molécula 75

Do interesse de permanecer “lá embaixo” 78

4. MONUMENTALIZAR 80

O advento dos dispositivos moleculares 83

Um fio... 84

Um amperímetro... 85

E oscila 88

Os dispositivos moleculares mecânicos 90

As moléculas de calcular 92

Moléculas de calcular quânticas 94

Fábricas de moléculas 96

Cada vez maior? 97

O recuo para os nanomateriais 99

5. AS NANOACTÉRIAS 102

Um meteorito que fez barulho 103

Os nanoaliens estão em toda parte 106

O elo perdido 108

A manufatura molecular da vida 109

As lições da Mãe Natureza 112

6. QUEM TEM MEDO DAS NANOTECNOLOGIAS? 115

OAM: Organismos Atomicamente Modificados 116

Outro perigo anunciado: os nanomateriais 118

Espiões eletrônicos 123

Rumo a uma nanomedicina? 126

Aplicações militares em vista 129

E além? 130

Em busca do bom senso 133

Anexo I: Pequena história da microscopia 135

A difração de raios X 138

A ftalocianina de cobre em fotografia 139

Nascimento da microscopia eletrônica 142

O microscópio de tunelamento 144

Anexo II: As tribulações de um prefixo 149

Notas 157

Referências bibliográficas 161

Agradecimentos 163

Introdução

O maravilhoso está em todos os infinitos

Este livro convida a um mergulho no infinitamente pequeno, e, uma vez “lá embaixo”, a brincar com um único átomo ou uma única molécula. Nossa experiência comum jamais trabalha com esses objetos unitariamente, pois eles são pequenos demais para serem tocados um a um. Qual o tamanho de um átomo? Em vez de fornecermos sua dimensão — um bilionésimo de metro, ou seja, um milionésimo de milímetro —, podemos nos perguntar que tamanho ele teria se eu, leitor deste livro, tivesse o tamanho do planeta. Um átomo, nesse caso, seria uma bolinha de um milímetro. E se fosse grande como uma moeda, então eu, leitor, cresceria até minha cabeça tocar o Sol. Um átomo, portanto, não pode ser visto com nossos olhos nem com nossos mais potentes microscópios ópticos.

Em 1981, foi inventado um novo instrumento, o microscópio de tunelamento, o qual permite formar a imagem de um único átomo ou de uma única

molécula de cada vez numa tela de computador. Mas os microscópios “eletrônicos” já forneciam imagens de átomos numa tela fosforescente nos anos 1950. Em contrapartida, o microscópio de tunelamento é o primeiro instrumento que permite igualmente tocar, com sua pequena ponta, um único átomo de cada vez, e ao mesmo tempo deslocá-lo à vontade. Em geral, quando tocamos em alguma coisa, os bilhões de átomos dos nossos dedos entram em “contato” com os bilhões de átomos do objeto tocado. Porém, a ponta do microscópio de tunelamento é tão fina que permite realmente tocar um único átomo e até mesmo construir, átomo a átomo, arquiteturas atômicas inéditas. Essa ponta torna-se o prolongamento do dedo do cientista.

O microscópio de tunelamento também está transformando nossa relação com a matéria. Com esse microscópio como ferramenta, surgiu uma abordagem tecnológica diferente, que consiste em construir, átomo a átomo, estruturas cada vez maiores, em “monumentalizá-los” até que cada qual constitua uma máquina minúscula capaz de funcionar como uma grande máquina. Esta é uma abordagem ascendente da construção de um dispositivo, que está na contracorrente da miniaturização.

Imaginemos, por exemplo, que se queira fabricar um cubo um milhão de vezes menor que um grão de areia, isto é, que medisse um nanometro de lado, ou seja, um bilionésimo de metro. Para construir esse nanocubo será preciso agregar 60 átomos um a um. Essa tecnologia ascendente de construção átomo a átomo, possível graças ao microscópio de tunelamento, chama-se “nanotecnologia”. Na abordagem descendente da miniaturização, seria preciso obter 100 bilhões de bilhões de átomos para fabricar o mesmo nanocubo a partir de um cubo de um centímetro.

Logo, por essência, a nanotecnologia é uma tecnologia que preserva os recursos materiais. Porém, ao longo dos anos, a definição de nanotecnologia tornou-se cada vez mais elástica: ela

transformou-se em “nanotecnologias”, que não dizem mais respeito apenas à manipulação da matéria átomo a átomo, mas fazem referência a todas as técnicas que permitem fabricar “objetos pequenos” com uma precisão da ordem do nanometro, quando põem em jogo bilhões de átomos, e não mais alguns poucos.

Como passamos da nanotecnologia dedicada ao desenvolvimento sustentável para as nanotecnologias “saco de gatos” que conhecemos hoje? Essa evolução, que relataremos no Capítulo 1, resultou de uma inacreditável operação política, em que se misturaram guerra de influência, dinheiro e competição. Em poucos anos, ela desviou a nanotecnologia de seu objetivo inicial. As nanotecnologias de hoje, que utilizam os mesmos princípios tecnológicos de antes da invenção do microscópio de tunelamento, impelem a miniaturização a seu extremo e flertam com a escala nanométrica. Devemos-lhes extraordinários dispositivos medindo algumas dezenas de nanômetros de lado, o que significa que compreendem vários milhares de átomos. Descreveremos estas pequenas maravilhas no Capítulo 2, que retratará os episódios marcantes da aventura da miniaturização, frequentemente confundida com aquela da nanotecnologia.

No Capítulo 3, contaremos a verdadeira história da nanotecnologia. Durante muito tempo os físicos sonharam em aproximar-se o máximo possível de um átomo ou de uma molécula. Com o microscópio de tunelamento, o sonho dos físicos tornou-se realidade. Agora eles podem ter acesso a uma molécula e estudá-la como se a tocassem com o dedo. A exploração desse mundo material “lá embaixo” apenas dá seus primeiros passos. Os físicos buscam saber se os fenômenos observados nessa escala obedecem às leis que conhecemos ou se irão pôr em xeque nossos conhecimentos de física.

Com o microscópio de tunelamento, pode-se *a priori* construir, átomo a átomo, todas as estruturas moleculares possíveis e

imagináveis! A síntese de novas moléculas decerto não é impossível. Centenas delas são produzidas diariamente nos laboratórios, as quais entram na composição de corantes, remédios etc. Mas essas novas moléculas são fabricadas aos bilhões e bilhões de exemplares ao mesmo tempo (uma só gota de água contém mais de 1.500 bilhões de bilhões de moléculas!), enquanto a molécula fabricada sob a ponta do microscópio de tunelamento constitui um exemplar único.

Equipados com um microscópio de tunelamento, os físicos e químicos não iriam perder a oportunidade de conceber novas moléculas para com elas confeccionar, por exemplo, as mais minúsculas nanomáquinas, dispositivos mecânicos ou máquinas de calcular. Essa abordagem ascendente é promissora: já se estudou o funcionamento de surpreendentes engenhocas minúsculas, constituídas por uma única molécula, e veremos no Capítulo 4 com que poderiam parecer as máquinas das gerações seguintes.

Um dia, certamente será possível construir estruturas maiores, por exemplo, moléculas do mundo vivo, como o DNA, proteínas e membranas para protegê-las. Mas o que irá acontecer uma vez reunido todo esse aparato molecular? A vida estaria no fim da monumentalização? O mundo vivo exerce sobre nós um fascínio do âmbito do sagrado. Onde se esconde a essência da vida no monumental aglomerado de átomos constituído por uma célula? No Capítulo 5, indagamos se a fantasia de recriar a vida *ex nihilo* tem alguma possibilidade de se concretizar.

As nanotecnologias levantam outras questões desconcertantes: as nanomáquinas poderiam tornar-se autônomas e escapar ao nosso controle? Poderiam ser tóxicas e prejudiciais ao ambiente? As nanotecnologias suscitam debates apaixonados, mas, para além disso, o progresso científico é uma questão, oscilando entre as vantagens e os inconvenientes de suas aplicações. Faremos

uma exposição desses debates e indagaremos, no Capítulo 6, se cabe temer a exploração desse infinitamente pequeno.

Este livro propõe-se a descrever o que são realmente as nanotecnologias e a refletir sobre suas consequências científicas e práticas. Para isso, é preciso redescobrir essa vontade de compreender que é característica do ser humano. Nós a associamos comumente a estrelas, galáxias, ao imensamente grande. Mas o maravilhoso está em todos os infinitos.

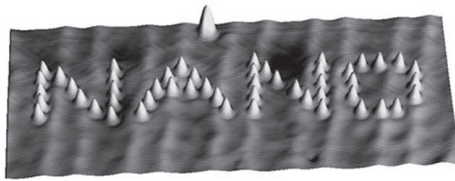


Imagem obtida por microscopia de tunelamento de 51 átomos de ouro (mais um átomo não identificado) depositados na superfície de um cristal de ouro. Os átomos aparecem nessa imagem como pequenas protuberâncias de 0,15 nanometro (nm: milionésimo de milímetro) de altura. Cada um dos átomos de ouro foi deslocado pela ponta do microscópio para escrever a palavra "NANO". A precisão do posicionamento é da ordem de 0,05nm, e a menor distância entre dois átomos de ouro nas letras é de 1,2nm. Essa escrita átomo a átomo foi realizada para este livro num microscópio de baixa temperatura da empresa Createc, por Soe We-Hyo e Carlos Manzano, pesquisadores do grupo Atom Technology, do instituto IMRE, da agência A*STAR, Cingapura, dirigido pelo autor. Tamanho real da imagem: 10nm x 30nm.