

# Técnicas para 'espionar' a matéria

A física conta hoje com um amplo arsenal de técnicas capazes de extrair da matéria informações cada vez mais detalhadas, em nível atômico. Entre essas técnicas, está a CATD, que se utiliza de 'espões' radioativos para conhecer a estrutura e as propriedades dos sólidos.

**Atualmente,** há uma insistência muito grande na obtenção de materiais que sirvam para aplicações tecnológico-industriais. Nessa lista, continuamente acrescida de novos itens, incluem-se os chamados 'novos materiais': cerâmicas supercondutoras de eletricidade, líquidos que cintilam quando atravessados por partículas, sistemas metálicos de multicamadas, como os utilizados para a construção de componentes eletrônicos.

Para acompanhar esses desenvolvimentos, a física da matéria condensada, dedicada ao estudo das propriedades dos sólidos, conta com técnicas tradicionais de caracterização, como, por exemplo, a difração de raios X, ao lado de um significativo arsenal de novas técnicas que vêm surgindo e se firmando na obtenção de detalhes e propriedades da estrutura do material estudado no que se refere aos aspectos de fenomenologia básica que apresentam, para assim melhor compreender os seus desempenhos.

Essas técnicas mais recentes e que permitem o registro de informações em nível da escala atômica vêm tendo crescente desempenho para as caracterizações estrutural e funcional >>>

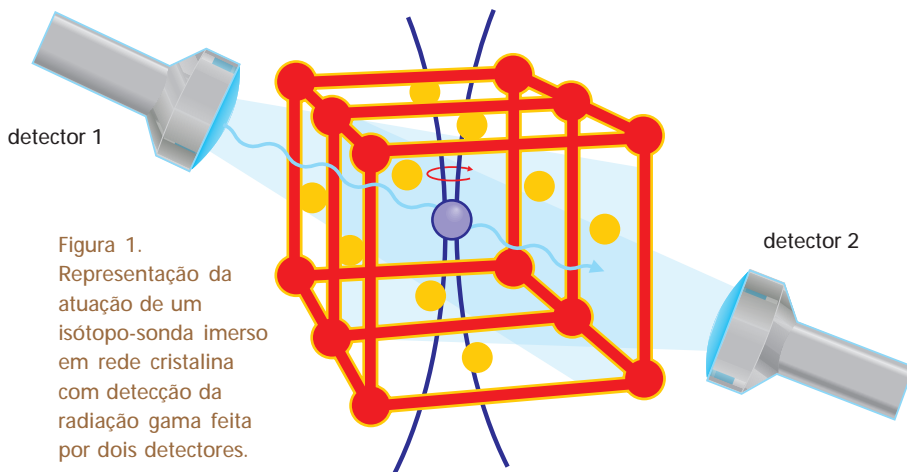


Figura 1. Representação da atuação de um isótopo-sonda imerso em rede cristalina com detecção da radiação gama feita por dois detectores.

de vários tipos de materiais. Dentre elas, com potencial particularmente poderoso para a investigação dos sólidos, está a correlação angular tempo-diferencial (CATD), a qual passaremos a detalhar.

**CASCATA NUCLEAR.** Como toda a técnica, a CATD tem suas peculiaridades e exigências. No caso, é necessário introduzir, química e/ou metalurgicamente, na rede cristalina da amostra em estudo os chamados isótopos-sonda emissores de radiação gama – esta uma radiação emitida pelo núcleo atômico, enquanto os raios X têm origem nas camadas eletrônicas dos átomos.

O fato de os isótopos-sonda serem átomos cujos núcleos emitem radiações gama deve-se ao caráter de instabilidade desses núcleos no que se refere a um excesso de energia acumulada que tende justamente a ser liberada sob a forma desse tipo de radiação. Nesse processo, denominado decaimento, o núcleo livra-se do excesso de energia e torna-se então estável, caráter extensivo ao átomo como um todo.

Átomos cujos núcleos decaem emitindo radiações são conhecidos como radioativos. Essa liberação da energia pode se dar em várias etapas, ou seja, o núcleo vai emitindo radiações gama com diferentes valores entre si, até atingir o seu estado-base estável. Diz-se, então, que o núcleo decaiu através de uma 'cascata nuclear', que é característica para um determinado átomo radioativo.

**IMERSOS NA MATÉRIA.** Os isótopos-sonda, todos iguais entre si, são introduzidos em grande número – aproximadamente  $10^{11}$  (cem bilhões!) – na amostra em estudo. Apesar de ser um número 'estonteante', ainda assim é várias ordens de grandeza menor do que o número de átomos da amostra

em que são imersos, justamente para não interferir nas propriedades que são o motivo de interesse.

Esses isótopos-sonda irão funcionar como 'espiões', enviando para o exterior 'informações' sobre o que estiver acontecendo à sua volta, através das radiações gama emitidas (figura 1). Essas radiações, invisíveis e sem carga elétrica, podem ser detectadas, mas não medidas e/ou registradas diretamente. Assim, depois de detectadas, são 'transfiguradas', por intermédio de equipamento adequado, em pulsos eletrônicos que podem ser devidamente conformados e registrados.

**CATD.** E aí se faz uso de propriedades relacionadas à emissão de radiação gama nuclear: uma constatação bem inicial é a de que a detecção dessas radiações em vários pontos equidistantes em torno da amostra indica que a intensidade medida é praticamente a mesma para todos os pontos. Em linguagem mais técnica, diz-se que a intensidade de radiação é isotrópica. No entanto, é conhecido que a intensidade da radiação gama nuclear detectada em uma determinada direção depende de propriedades de orientação do estado nuclear naquele momento da emissão.

A aparente isotropia deve-se ao fato de que uma enorme quantidade de isótopos-sonda – lembram dos cem bilhões? – foi introduzida na amostra, incorrendo em praticamente todas as possibilidades de orientação dos estados nucleares.

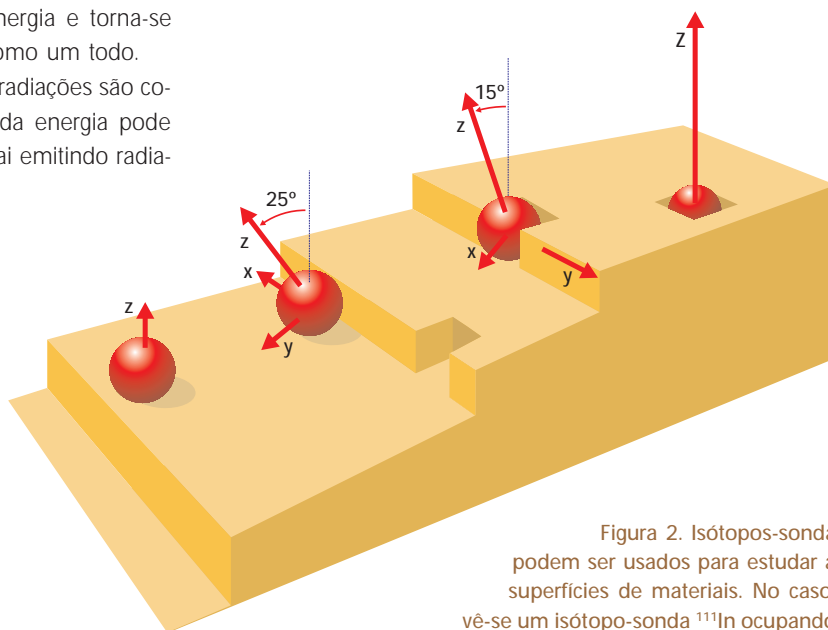


Figura 2. Isótopos-sonda podem ser usados para estudar a superfícies de materiais. No caso, vê-se um isótopo-sonda  $^{111}\text{In}$  ocupando locais (sítios) em camadas na superfície de cobre.

Em verdade, as direções de emissão dependem dessas orientações, que, por sua vez, impõem um caráter anisotrópico – este sim um caráter real – às direções de emissão, detectável sempre que se possa detectar as radiações provenientes de uma fração dos núcleos, fração esta com uma bem determinada e idêntica configuração de seus estados.

O que a CATD permite é justamente explicitar e medir essa anisotropia através do arranjo dos detectores e do processamento adequado dos registros eletrônicos.

**INTERAÇÕES HIPERFINAS.** No entanto, essas configurações de estado nuclear que determinam a direção da emissão da radiação gama podem ser modificadas sempre que os isótopos-sonda interajam com os campos eletromagnéticos em torno deles, originários das cargas elétricas presentes nos núcleos atômicos que formam a amostra.

Essas interações são conhecidas como Interações Hiperfinas (IH). E é justamente a possibilidade de alterar a anisotropia através dessas interações que torna a CATD um instrumento poderoso de pesquisa em física da matéria condensada.

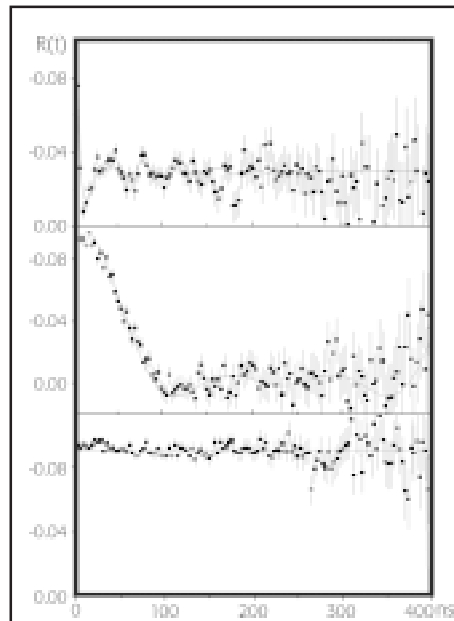


Figura 3. Espectros CATD medidos no sistema catalítico Pt-In/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  em diferentes temperaturas.

**PROTEÍNAS E METAIS.** A CATD tem sido utilizada nas mais diversas áreas para análise e caracterização dos sólidos. Por exemplo, ela vem sendo empregada para conhecer como diferem as propriedades de metais presentes em macromoléculas (proteínas, por exemplo) daquelas em que esses elementos se encontram em complexos moleculares inorgânicos. É também empregada para

estudar o comportamento e as propriedades de superfícies metálicas (figura 2) ou para conhecer como o movimento dos átomos se altera no interior de uma rede cristalina de um sólido de acordo com a temperatura.

Com técnicas como a CATD, aliada a outras, tem sido possível extrair da matéria informações em nível atômico cada vez mais detalhadas. E graças a essa vasta gama de informações, vão se aprofundando e ampliando os conhecimentos sobre a matéria, permitindo a obtenção de novos e sofisticados produtos que vão se incorporando ao nosso dia-a-dia. ■

## TRABALHO RENDEU PRÊMIO EM CONGRESSO INTERNACIONAL

Como ilustrações das ordens de grandeza em que a CATD pode atuar, experimentos de difusão em metais realizados pelo Grupo de Correlação Angular (GCA/CBPF), em colaboração com colegas do ISKP, em Bonn (Alemanha), mostraram que no  $\text{HfD}_2$ , acima de 790 graus celsius, os átomos de deutério (D) se deslocavam a partir de saltos com intervalos entre si da ordem de dois bilionésimos de segundo!

Em colaboração com o Grupo de Catalise do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal Fluminense (UFF), o GCA/CBPF realizou uma série de experimentos CATD no sistema catalítico Pt-In/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  cujos resultados indicaram um esta-

do multicomponente para os átomos de In (índio) na superfície dos catalisadores: enquanto parte dos átomos de In interage fortemente com a Pt (platina) formando *clusters* (aglomerados), outra fração permanece fortemente ligada à superfície da alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), enquanto uma fração dos átomos de In é móvel em condições reacionais (figura 3).

Esses resultados foram apresentados recentemente no X Congresso Brasileiro de Catalise, realizado em Salvador, em setembro de 1999, e no *XII International Congress of Catalysis*, em Granada (Espanha), em julho de 2000, contribuição que laureou nosso colaborador da UFF com o prêmio 'Jovem Cientista' outorgado pela I.A.C.S. (*International Association of Catalysis Societies*).



Da esq. para dir.: Paulo Roberto de Jesus Silva, José Thadeu P. D. Cavalcante e Henrique Saitovitch.