Não toque: deixe a luz medir

Autoras:
Cristina Vasconcelos
Gabriela Meirelles

Medir a temperatura parece uma das coisas mais simples do mundo. Pegamos num termómetro, encostamo-lo ao que queremos medir, esperamos um pouco e lemos o valor.
Na maior parte das situações, funciona.
Mas há um pormenor que raramente questionamos: para medir, o termómetro tem de interagir com o corpo. E, em certas escalas, essa interação pode ser precisamente o problema.
Como se mede a temperatura de uma região microscópica de um material? De um componente eletrónico muito pequeno? De uma célula? Ou de um sistema em que colocar uma sonda pode alterar aquilo que queremos medir? Nesses casos, talvez seja melhor não tocar. É aqui que entra a luz.
Há materiais que, depois de absorverem energia, emitem luz. A este fenómeno chamamos luminescência. E essa emissão contém informação sobre o material.
Para medir temperatura através da luz, os iões de terras raras são particularmente interessantes. O nome pode sugerir que são elementos muito pouco comuns, mas não é isso que os distingue. Do ponto de vista ótico, têm uma estrutura eletrónica muito própria e podem emitir em regiões bem definidas do espectro, desde o visível ao infravermelho. A Fig. 1 mostra, como exemplo, os espectros de emissão de Er^{3+} e Ho^{3+} incorporados em granada de gálio e ítrio (YGG).
É precisamente essa emissão que se altera quando a temperatura muda.
Imagine-se um ião que pode emitir luz de duas formas diferentes. Quando a temperatura muda, muda também a intensidade relativa dessas emissões.
É essa variação que podemos usar para medir a temperatura. Se a relação entre as duas emissões variar de forma conhecida com a temperatura, o material pode funcionar como um termómetro ótico.
Mas, para que a medição seja fiável, não basta observar que a luz muda. É preciso perceber porquê e saber até que ponto essa relação continua válida.
Cada material responde de forma diferente. Um termómetro ótico tem, por isso, um intervalo de utilização, uma sensibilidade, uma resolução e uma incerteza. A resposta depende não apenas do ião utilizado, mas também do material onde está incorporado, da sua concentração, das interações entre os iões e dos processos de transferência de energia.
É aqui que a ideia aparentemente simples de medir a temperatura através da luz começa a revelar a Física que está por trás dela.
Na Universidade dos Açores temos trabalhado precisamente com a luminescência de iões de terras raras, procurando relacionar o que observamos nos espectros com os mecanismos físicos que estão por trás da emissão.
Num desses trabalhos, nanopartículas de YGG, co-dopadas com Er^{3+} e Ho^{3+}, permitiram estudar a resposta ótica desde temperaturas criogénicas até valores muito acima da temperatura ambiente.
Os dois iões não fazem exatamente o mesmo trabalho. A resposta do Ho^{3+} é particularmente útil a temperaturas mais baixas, enquanto o Er^{3+} permite estender a medição para temperaturas mais elevadas. A Fig. 2 mostra como variam com a temperatura as razões entre bandas de emissão de cada um dos iões. No conjunto, os dois permitem cobrir um intervalo térmico mais amplo do que seria possível utilizando apenas um deles.
É este tipo de sistema que torna a termometria ótica interessante em situações em que uma sonda convencional é demasiado grande, invasiva ou simplesmente difícil de colocar.
A luz consegue chegar onde muitas sondas não chegam e regressa trazendo informação.
Portanto, a luz não serve apenas para vermos. A luz que um material emite transporta informação sobre a sua estrutura, sobre as suas interações e sobre o ambiente que o rodeia.
A temperatura é apenas uma dessas informações.
Por isso, da próxima vez que alguém disser que medir temperatura é simplesmente "pôr um termómetro", talvez valha a pena desconfiar. Às vezes, medir melhor significa não tocar.

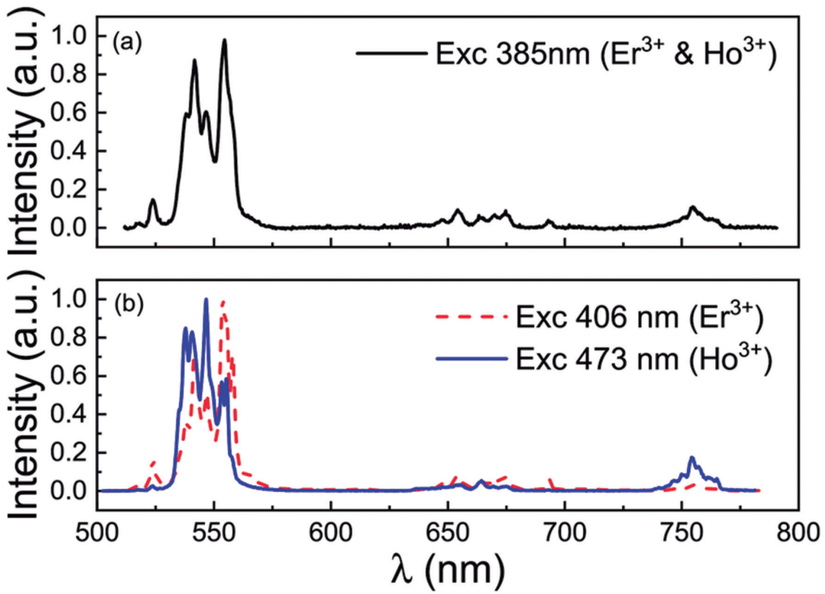


Figura 1. Espectros de emissão de YGG:Er^{3+} /Ho^{3+} sob excitação simultânea e seletiva (Soler-Carracedo, Martín, Lahoz, Vasconcelos *et al., Journal of Alloys and Compounds* 847 (2020) 156541)

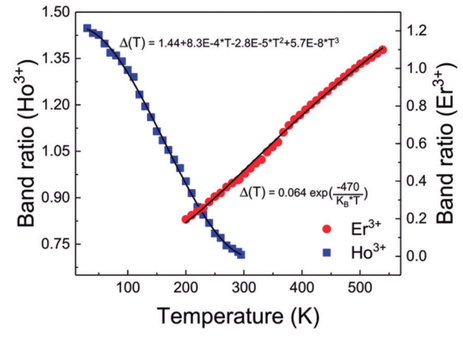


Figura 2. Razão entre intensidades de emissão de Er^{3+} /Ho^{3+} em YGG em função da temperatura (Soler-Carracedo, Martín, Lahoz, Vasconcelos *et al., Journal of Alloys and Compounds* 847 (2020) 156541)

Novos mapas para compreender a interação entre iões de terras raras

Em julho de 2026, a revista Photonics publicou o artigo *Energy-Gap Topology for Mapping Coupling Architectures in Lanthanide Co-Doped Photonic Materials*, Vasconcelos & Meirelles, Photonics 13 (2026) 733.
https://www.mdpi.com/2304-6732/13/8/733

O trabalho propõe uma forma de comparar as diferenças de energia entre níveis 4f de vários iões de terras raras, antes de uma análise espectroscópica detalhada. Permite identificar quais os pares de iões energeticamente mais compatíveis, sem prever diretamente a eficiência da transferência de energia.