

CRISTALOFÍSICA

Las propiedades físicas de un cristal se pueden definir como la relación entre dos cantidades medibles. Así por ejemplo, la densidad es la relación entre la masa y el volumen.

Isotropía y anisotropía

En el anterior ejemplo, ambas cantidades se pueden medir sin relacionarlas con ninguna dirección específica del cristal, por tanto, la densidad no depende de la dirección. En este caso se dice que esta propiedad es no direccional. Contrariamente, hay otras propiedades, como la conductividad eléctrica, que se define como la relación entre un campo eléctrico y la intensidad de la corriente producida por este campo: en este caso para ambas cantidades hay que precisar la magnitud y la dirección, por tanto, la conductividad eléctrica dependerá de la dirección en que se midan el campo y la corriente, i a la vez estará asociada a una dirección del cristal, dependerá de la dirección y por tanto, se habla de propiedades direccionales.

Se puede comprobar experimentalmente que algunas de las propiedades que se pueden asociar a una dirección determinada, adquieren valores diferentes para direcciones diferentes. Es decir, la magnitud de una propiedad puede variar con la dirección en que se mida: en este caso el cristal es *anisotrópico* respecto de esta propiedad. Al contrario, si la magnitud no varía con la dirección, se dice que el cristal es *isotrópico* respecto de esta propiedad.

Cabe señalar que los cristales no son anisotrópicos o isotrópicos per se, sino que este concepto está en relación con cada una de las propiedades físicas. Hay cristales anisotrópicos para ciertas propiedades, mientras que se comportan isotrópicamente para otros.

Conviene no confundir este concepto con el de heterogeneidad y homogeneidades, también relacionados con la dirección. Un cuerpo es heterogéneo respecto de cierta propiedad si el valor de esta varía a lo largo de una dirección, cosa que únicamente sucede en los cristales en condiciones excepcionales. Por ejemplo la atmósfera es heterogénea respecto de la velocidad de la luz porque la densidad de las diversas capas es diferente y por tanto, la luz viaja a velocidades diferentes a lo largo de una misma dirección.

Escalares, vectores y tensores

Tal como se ha visto, una propiedad física relaciona dos magnitudes medibles. Si estas magnitudes no se pueden asociar a una dirección, y por tanto la propiedad en cuestión tampoco, esta se puede definir con un solo número, es decir un escalar, resultado de la relación entre dos escalares. La densidad antes comentada es un ejemplo.

Hay propiedades, como la piroelectricidad, que resultan de relacionar una magnitud no asociable a una dirección (la temperatura) con otra que se ha de medir en una dirección, (la polarización eléctrica). En estos casos la propiedad es direccional, y para describirla se habrá de representar la magnitud de la propiedad asociada a la dirección en que se ha producido la polarización eléctrica, es decir, hay que representarla con un vector, resultado de la relación entre un escalar y un vector.

En muchos de los casos, una propiedad física resulta de la relación entre dos magnitudes asociables a las respectivas direcciones (dos magnitudes vectoriales), y la propiedad que resulta es, obviamente, direccional. Este es el caso de la conductividad eléctrica, que resulta de la relación entre un campo eléctrico aplicado en cierta dirección y la corriente eléctrica general

en otra dirección. Para representar la conductividad eléctrica hay que introducir el concepto de tensor, que resulta de la relación entre dos vectores, el cual tiene la forma matemática de una matriz de n componentes. En próximos capítulos se explicará el sentido físico de los tensores sobre la base del comportamiento de los cristales ante algunas propiedades como la conductividad eléctrica o la dilatación térmica.

Es posible generalizar el concepto de tensor, de manera que un vector se puede considerar un tensor de 3^1 componentes, dado que hacen falta tres números para definirlo en el espacio de tres dimensiones en el que se representa el cristal. Igualmente, un escalar se puede considerar un tensor de 3^0 componentes. Un tensor que representa una propiedad que relaciona dos magnitudes vectoriales de 3^1 componentes, tendrá la forma de una matriz de 3^2 componentes. Y una relación entre una magnitud tensorial de 3^2 componentes y un vector de 3^1 componentes, se representará por un tensor de 3^3 componentes, etc.

Esto permite introducir el concepto de rango de los tensores, y decir que un escalar es un tensor de rango cero, un vector un tensor de rango uno, un tensor de 3^2 componentes es de rango dos, y en general decir que un tensor de 3^n componentes es de rango n . Y por tanto, hablar de propiedades tensoriales de primer, segundo, tercer... orden.

Principio de Neumann

El principio de Neumann establece que *la simetría de una propiedad física ha de incluir la simetría del grupo puntual del cristal*. Es decir, que los elementos de simetría de una propiedad física han de ser igual o bien un supergrupo, del grupo puntual.

La simetría de una propiedad física corresponde a la de la figura tridimensional, lugar geométrico de los extremos de los vectores que representan el valor de la propiedad en cada una de las direcciones del cristal. Es decir, si se representa el valor medido de la propiedad en cada dirección, el conjunto de medidas define una figura, la cual tiene cierta simetría, que ha de incluir la del correspondiente grupo puntual.

Grupos de Laue y propiedades centrosimétricas

Aquellas propiedades físicas direccionales que tienen el mismo valor en la dirección $[uvw]$ que en la $[\bar{u}\bar{v}\bar{w}]$ se llaman *centrosimétricas*. Este es el caso de algunas propiedades que, por su propia naturaleza no tiene sentido diferenciar entre dos direcciones opuestas, relacionadas por un centro de simetría. La dilatación térmica, es un ejemplo: si una línea de un cristal se modifica (aumenta o disminuye), esta medida es atribuible a una dirección, pero no a uno de los sentidos de la dirección.

Para estas propiedades, los cristales se comportan como si tuvieran centro de simetría, tanto si su grupo puntual lo contiene o no. Para estos casos se utilizan los llamados grupos de Laue, que resultan de añadir un centro de simetría al grupo puntual del cristal, y por tanto, los 32 grupos de simetría puntual quedan reducidos a 11 grupos centrosimétricas, o de Laue. Así, el grupo de Laue de un cristal del grupo 1 es $\bar{1}$, el de un cristal del grupo 2 es 2/m, etc. En la tabla siguiente se relacionan los grupos puntuales y los correspondientes centrosimétricos.

	GRUPOS PUNTUALES			GRUPOS DE LAUE
Triclínico	1	$\bar{1}$		$\bar{1}$
Monoclínico	2	m	2/m	2/m

Rómbico	222	mm2	mmm	mmm
Trigonal	3	$\bar{3}$		$\bar{3}$
	3m	32	$\bar{3}2/m$	$\bar{3}2/m$
Tetragonal	4	$\bar{4}$	4/m	4/m
	$\bar{4}2m$	422	4mm	4/mmm
Hexagonal	6	$\bar{6}$	6/m	6/m
	622	6mm	$\bar{6}m2$	6/mmm
Cúbico	23	$2/m\bar{3}$		$2/m\bar{3}$
	432	$\bar{4}3m$	$m\bar{3}m$	$m\bar{3}m$