

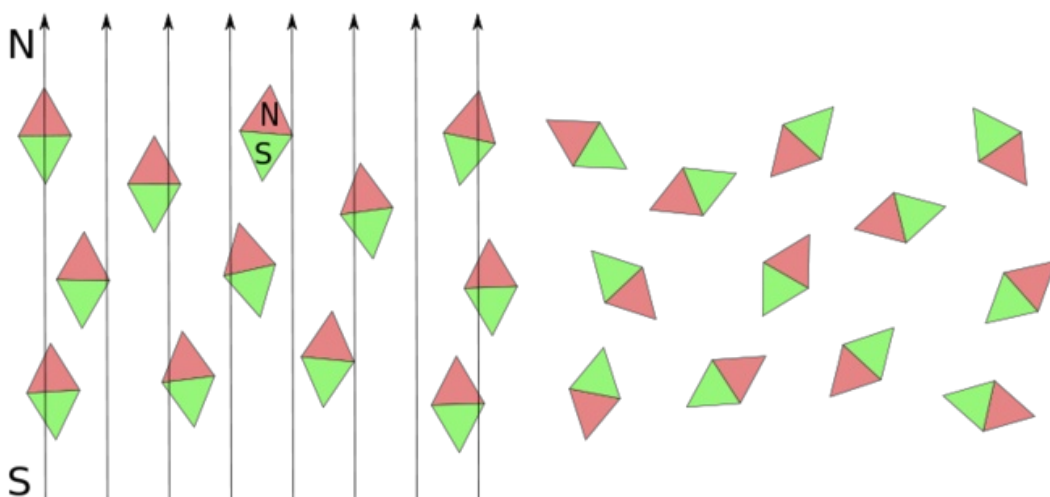
MARCO TEÓRICO

El campo magnético es una región de espacio que rodea a un imán o a una corriente eléctrica por la cual una fuerza magnética puede actuar sobre otras partículas cargadas eléctricamente o imanes. Es similar al campo gravitacional, pero en lugar de atraer objetos según su masa, el campo magnético interactúa con materiales magnéticos y cargas eléctricas en movimiento.

Imagínate que tienes un imán, como una barra imantada. Alrededor del imán, hay un campo magnético invisible que se extiende hacia afuera en todas las direcciones. Si colocas una brújula cerca del imán, la aguja de la brújula se alineará con el campo magnético y apuntará hacia una dirección en particular. Esto se debe a la interacción entre el campo magnético del imán y el campo magnético de la Tierra.

La magnetización, por otro lado, se refiere a la propiedad de un material de alinearse con un campo magnético externo. En términos más simples, es la capacidad de un material para volverse magnético cuando está expuesto a un campo magnético. Algunos materiales, como el hierro, níquel y el cobalto, tienen una fuerte capacidad de magnetización, lo que significa que pueden alinearse fácilmente con un campo magnético.

Es importante entender la relación entre el campo magnético y la magnetización. El campo magnético es una región de espacio alrededor de un imán o una corriente eléctrica donde se ejerce una fuerza magnética. Cuando aplicamos un campo magnético externo a un material, se induce la magnetización en ese material. Esto significa que los pequeños imanes en el material, llamados átomos o moléculas, se alinean en la misma dirección magnética. La magnetización, a su vez, crea un campo magnético alrededor del material. Es como si el material se volviera magnético y generara su propio campo magnético. Esta interacción entre el campo magnético externo y la magnetización del material es fundamental para comprender cómo funcionan los imanes y los materiales magnéticos.



Ahora, hablemos del modelo de Ising. Este modelo matemático se utiliza en la física estadística para estudiar cómo interactúan las partículas en un material y comprender sus propiedades magnéticas, como la magnetización. Aunque puede

sonar complicado, podemos simplificarlo para entenderlo mejor. Imagina un tablero cuadriculado, como un tablero de ajedrez, donde cada casilla puede tener una flecha que apunta hacia arriba o hacia abajo. Cada flecha representa un "momento magnético" que puede ser positivo o negativo, es decir, puede estar "arriba" o "abajo". En el modelo de Ising, estas flechas representan los momentos magnéticos de las partículas en un material. Cada flecha interactúa con las flechas vecinas, tratando de alinearse en la misma dirección. Esto se debe a que las partículas en los materiales tienden a tener momentos magnéticos similares y prefieren estar alineadas. La energía del sistema depende de cómo están orientadas las flechas. Cuando las flechas vecinas están alineadas, el sistema tiene una energía baja y es más estable. Por otro lado, cuando las flechas vecinas están en direcciones opuestas, el sistema tiene una energía alta y es menos estable.

En el modelo de Ising, introducimos una temperatura ficticia que controla el cambio de orientación de las flechas. A altas temperaturas, las flechas tienden a cambiar su dirección con facilidad, mientras que, a bajas temperaturas, las flechas tienden a mantener su orientación. Podemos simular este modelo en una computadora y estudiar cómo evolucionan las orientaciones de las flechas a medida que cambia la temperatura. Esto nos ayuda a comprender mejor el comportamiento de los materiales.

Magnéticamente un material se puede clasificar en Ferromagnético, Paramagnético, Antiferromagnético.

Ferromagnético: Imagina que tienes un imán, como los que se utilizan en los refrigeradores para pegar notas. Los imanes ferromagnéticos son materiales que tienen propiedades magnéticas similares a las de un imán. Esto significa que pueden ser atraídos por otros imanes y tienen la capacidad de magnetizarse, es decir, pueden generar su propio campo magnético. En un material ferromagnético, los átomos están organizados de tal manera que sus momentos magnéticos (pequeños imanes) se alinean en la misma dirección. Esto crea regiones llamadas dominios magnéticos, donde los momentos magnéticos están todos apuntando en la misma dirección. Cuando los dominios están alineados, el material muestra una fuerte magnetización y se comporta como un imán. Esto significa que atraerá objetos metálicos y ejercerá fuerzas magnéticas sobre ellos.

Paramagnético: Los materiales paramagnéticos también responden a la presencia de un campo magnético, pero en menor medida que los materiales ferromagnéticos. En estos materiales, los momentos magnéticos de los átomos no están alineados de forma natural, pero cuando se aplica un campo magnético externo, los momentos magnéticos tienden a alinearse en la dirección del campo, generando una magnetización débil. Sin embargo, una vez que se retira el campo magnético externo, los momentos magnéticos vuelven a desordenarse y el material deja de ser magnético. Esto significa que los materiales paramagnéticos no retienen la magnetización de forma permanente.

Antiferromagnético: Los materiales antiferromagnéticos también tienen momentos magnéticos en sus átomos, pero a diferencia de los ferromagnéticos, estos momentos magnéticos están orientados en direcciones opuestas y se anulan mutuamente. Esto significa que, en promedio, el material no tiene magnetización neta. En un material antiferromagnético, los momentos

magnéticos están organizados en pares, donde un momento magnético apunta en una dirección y su vecino apunta en la dirección opuesta. Esta organización se extiende a lo largo del material y crea una estructura de "alternancia" magnética.

En resumen, los materiales ferromagnéticos son aquellos que pueden ser magnetizados y retienen su magnetización incluso después de retirar el campo magnético externo. Los materiales paramagnéticos tienen una magnetización débil y solo la muestran cuando se aplica un campo magnético externo. Los materiales antiferromagnéticos tienen momentos magnéticos que se anulan mutuamente, lo que resulta en una magnetización neta nula.

Es importante tener en cuenta que el modelo de Ising es una simplificación y no tiene en cuenta muchos factores complejos de los materiales reales. Sin embargo, es una herramienta muy útil para comprender los conceptos básicos de la magnetización.

OTRA EXPLICACIÓN

El modelo de Ising es un modelo sencillo para el estudio de la transición ferromagnética, se parte de una red regular, que imita la red cristalina de un material ferromagnético, por ejemplo, Níquel, en cuyos sitios de la red, se colocan un momento magnético o espín S_i que puede tomar los valores $+1$ ó -1 , la interacción se da a primeros vecinos de la red. La energía de interacción entre los espines es de la forma:

$$H_{ij} = -J S_i S_j$$

Donde J es la energía de interacción, Para dos sitios adyacentes $\langle i, j \rangle$, se pueden clasificar según el signo de la interacción para un par

$J_{ij} > 0$, la interacción se llama ferromagnética.

$J_{ij} < 0$, la interacción se llama antiferromagnético .

$J_{ij} = 0$, no hay interacción.

La energía de una configuración supuesta positiva $J > 0$ para el sistema ferromagnético, la forma del hamiltoniano es tal que favorece que los espines estén alineados, porque si $S_i = S_j$ entonces la energía disminuye en una cantidad J . Si existe un campo magnético externo, B , los momentos magnéticos interaccionan con él con una energía $H_B = -B S_i$ El hamiltoniano total es entonces:

$$H[S_i] = -J \sum_{\langle i, j \rangle} S_i S_j - B \sum_i S_i$$

donde la notación $\langle i, j \rangle$ indica suma a espines contiguos.

¿Por qué se produce la transición de fase? Si sólo tuviéramos en cuenta la energía y tratáramos de minimizarla, entonces la fase del sistema sería una fase perfectamente ordenada, y, por tanto, ferromagnética. Sin embargo, existe el

efecto de la temperatura que provoca un efecto aleatorio en el que los espines pueden cambiar su valor al azar. Este efecto es más alto cuánto más alta es la temperatura, y por ello, temperaturas altas dan lugar a fases desordenadas. Dependiendo de cuál sea el efecto dominante entre ambos, aparecerán fases ferromagnéticas o no.

La magnetización del sistema es el valor medio de la suma de los valores de los momentos magnéticos:

$$M = \sum_i^N s_i$$

Cuando se aplica un campo magnético externo a un sistema ferromagnéticos observa que la magnetización tiene una caída mucho más suave. Es decir, el sistema comienza a ordenarse a una temperatura superior a la que tuviese en ausencia de campo magnético externo.