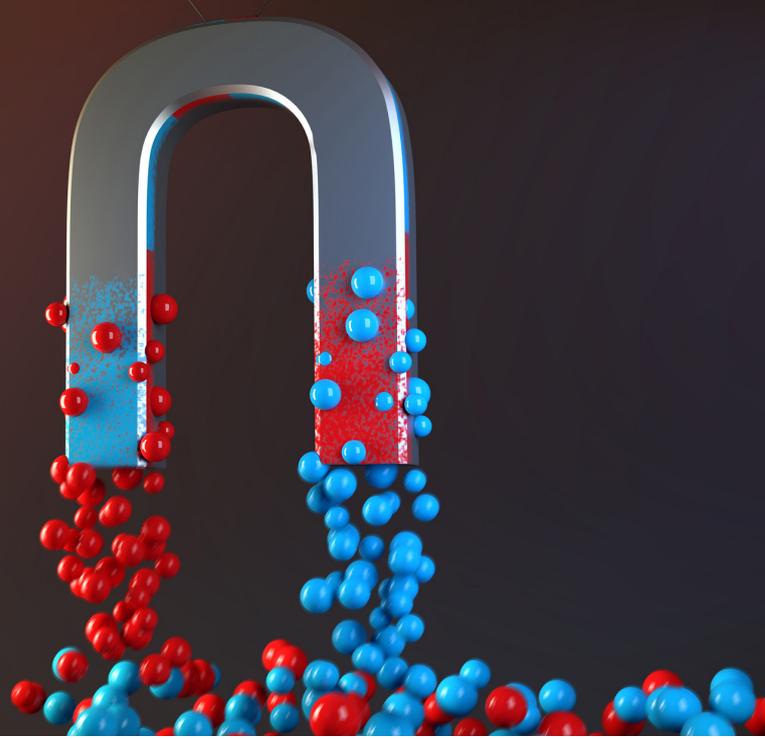


¿DE DÓNDE PROVIENE LA MAGNETIZACIÓN EN UN IMÁN?

Al escuchar la palabra imán es muy probable que pensemos en los imanes adheridos a la cubierta de nuestro refrigerador, sin embargo, nos sorprendería saber que el origen de este efecto llamado magnetización proviene de una propiedad cuántica que tienen los átomos de todos los cuerpos, el espín. Por ejemplo, la información grabada en una tarjeta bancaria proviene del orden de los espines de la banda magnética de la tarjeta.

• **Alejandro Riveros R.**

Doctor en Ciencias con mención en Física



Ya es un hecho que en nuestra vida cotidiana hacemos uso de la grabación magnética. Por ejemplo, cuando utilizamos nuestra tarjeta bancaria para efectuar un pago, cuando usamos nuestra tarjeta bip del Transantiago para validar nuestro pasaje o cuando guardamos un archivo o documento en nuestro computador, estamos haciendo uso de la información magnética mantenida en esas tarjetas y en la tarjeta de memoria del computador. En realidad, todos estos procesos de lectura y codificación magnética son posibles debido a una propiedad que poseen todos los objetos a nivel atómico conocido como el espín. ¿Pero que es un espín? ¿Como podemos entender esta característica propia de todos los cuerpos? Para comenzar debemos realizar un viaje hacia el interior de los cuerpos, para esto, pensemos que poseemos una herramienta capaz de ver lo más pequeño que forma el cuerpo, pensemos en un "súper" microscopio. Al mirar por este "super" microscopio notaríamos que el cuerpo está formado por un número gigantesco, tan grande casi impensable, de átomos o pelotitas, donde cada una de estas pelotitas tiene la capacidad de girar, aún cuando no se esté moviendo de ubicación (como lo hace una bailarina de ballet al girar sobre las puntillas de sus pies sin moverse de su lugar), convirtiéndolo en un diminuto imán (Figura 1). Pues bien, dicha propiedad que tienen los átomos de girar sobre su eje es conocido como el espín, llamado de esta manera debido a la palabra en inglés "spin" que significa giro.

Ya nos hemos dado cuenta de que el espín es una propiedad de los cuerpos, que se suman a otras propiedades como la masa y la carga eléctrica, esta última propiedad también proveniente de los átomos de los cuerpos. Pero bueno, para no perder el foco, en vez de entrar en detalles de la carga eléctrica, sigamos describiendo

do el espín de los átomos de los objetos. El espín al caracterizar el giro de los átomos sobre su eje puede ser representado por una flecha que indica el eje de giro y el sentido del giro (Figura 1). Sin embargo, aunque todos los cuerpos, incluyendo la bailarina de ballet, están formados por átomos, sólo en algunos cuerpos, llamados magnéticos, es posible mantener la orientación de los espines por mucho tiempo, tales como en la banda negra de las tarjetas bancarias.

Aunque podamos describir el espín como una flecha, el espín no tiene una sombra común y corriente como tendría cualquier cuerpo, más aún el tamaño de la sombra no dependería de la inclinación que tendría la flecha, como ocurre en forma cotidiana. Sorprendentemente, la sombra de un espín sólo puede ser discreta, esto es un punto y no una franja continua como realizan los objetos que podemos ver, como, por ejemplo, la sombra de una persona o la sombra de un árbol. Lo que es más interesante, es que no es único punto, sino que son dos puntos (que pueden

ser representados por flechas apuntando hacia arriba o hacia abajo) y curiosamente ambas sombras viven simultáneamente hasta que son "observadas", tal como ocurre en la famosa paradoja del "gato de Schrödinger". En palabras simples, esta paradoja consiste en un gato dentro de una caja cerrada. El gato está simultáneamente vivo y muerto mientras no se observe. Por lo tanto, mientras no se abra la caja para ver el estado del gato, existe una probabilidad de que el gato se encuentre vivo o se encuentre muerto (Figura 2). En este ejemplo los dos posibles estados del gato son vivo o muerto mientras que para el espín las dos posibles observaciones son espín hacia arriba (flecha apuntando hacia arriba) o hacia abajo (flecha apuntando hacia abajo). Cada uno de estos estados pueden ser observados o medidos en forma probabilística.

Ya dijimos que el espín es una propiedad propia de los átomos, que puede ser representado por una flecha y que su proyección (sombra) en una dirección es discreta, flecha dirigida hacia arriba o flecha

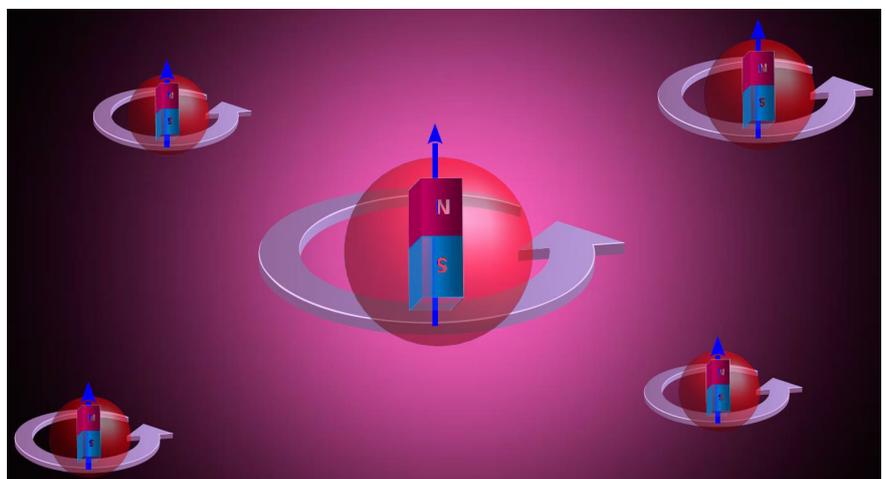


Figura 1

Representación gráfica de los espines dentro de un cuerpo.

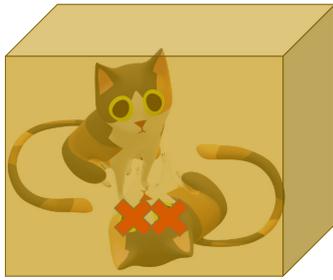


Figura 2

Ilustración de la paradoja del "gato de Schrödinger", mientras no se abra la caja el gato está vivo y muerto

dirigida hacia abajo. No obstante, aún falta un último aspecto importante para entender el espín. Curiosamente si proyectamos el espín en otra dirección, distinta a la inicial, si bien podemos intuir, en base a lo analizado, que se podrían obtener dos proyecciones en esa nueva dirección (flecha hacia arriba o hacia abajo), nos sorprendería el hecho que al hacer esta nueva proyección ¡habremos alterado la sombra del espín en la dirección inicial! ¡Todo esto suena un poco loco pero fascinante! ¿no cierto? Esta característica propia de las partículas a nivel atómico llamado el espín, su propiedad no diagonal para sus proyecciones o sombras en las direcciones espaciales y sus mediciones discretas en forma probabilística, las cuales fueron medidas en el famoso experimento de Stern y Gerlach [1], son los ingredientes necesarios para analizar la materia a escala atómica o subatómica, lo que da origen a la física cuántica.

Ahora bien, Los espines no viven aislados en la naturaleza por lo tanto pueden interactuar entre ellos. En el trabajo [2] se estudió la interacción de los espines a nivel atómico en materiales magnéticos en una dimensión y dos dimensiones espaciales y el efecto del ordenamiento de los espines sobre las propiedades magnéticas del material como magnetización y susceptibilidad magnética cuando se le aplica un campo la magnético al material, teniendo en consideración la naturaleza cuántica

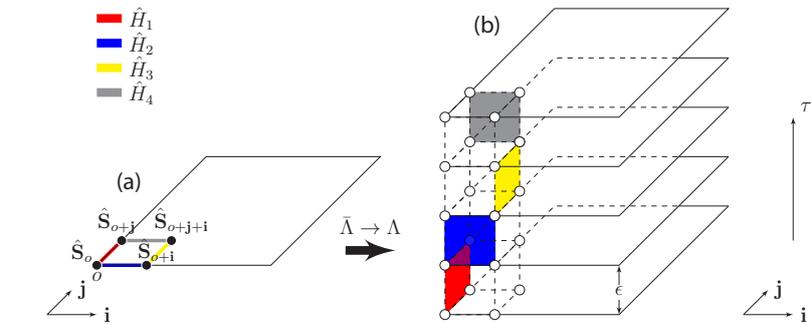


Figura 3

a) Representación gráfica de las interacciones entre espines cuánticos (círculos negros) en una red rectangular, mostradas por segmentos de colores que unen los espines. Estas interacciones se realizan en forma de plaqueta en la nueva dirección en forma de una espiral (b).

del espín. A continuación, resumiremos en simples palabras ese estudio; para mayores detalles técnicos ver el artículo [2]. Como el objeto de estudio era analizar el efecto del campo magnético en los espines del material, se modeló la configuración de espines del material como redes lineales y rectangulares de muchos espines en los cuales en cada punto de la red se encuentra un espín. Además, se tomó en consideración la interacción entre los espines más cercanos y un campo magnético aplicado al material. En la (Figura 3a) se muestra en forma gráfica (mostrando explícitamente 4 espines) una representación de los espines en una red rectangular, la cual simula la configuración de espines de un material magnético en dos dimensiones. En esta figura, las interacciones entre los cuatro espines vecinos se muestran por segmentos de colores, mientras que los espines son representados por puntos negros. En el artículo se muestra que es posible simular estos sistemas cuánticos introduciendo una dimensión extra en la cual cada una de las interacciones entre espines vecinos se van realizando en forma de plaquetas [3] que van creciendo en la nueva dirección (hacia arriba) en forma de una espiral (Figura 3b). En esta nueva red se pueden medir las configuraciones de las proyecciones de todos los espines de la red para poder determinar las pro-

iedades magnéticas del material, tales como la magnetización y la susceptibilidad magnética en función de la intensidad de campo magnético aplicado, En la figura 4 se muestran estas propiedades en el caso de un material magnético en una dimensión para una cantidad determinada de espines de la red (acá L representa el número de espines del modelo). Es interesante notar que a medida que aumenta el valor de L (mayor número de espines considerados en la red) el comportamiento de la magnetización y de la susceptibilidad magnética convergen hacia una única curva, lo que permite conjeturar como sería el comportamiento de estas propiedades físicas al seguir aumentando el número de espines. Por ejemplo, la cúspide formada en la susceptibilidad magnética para L = 240 espines muestra la evidencia de una transición de fase cuántica (Figura 4b).

En resumen, los espines son características cuánticas de los materiales, cuyas configuraciones en materiales magnéticos permiten almacenar información magnética. En el trabajo se muestra un método para poder simular configuraciones de espines en materiales magnéticos, y sus efectos en las propiedades magnéticas tomando en cuenta la interacción entre los espines y de un campo magnético manteniendo las características cuánticas del espín, estas son: magnitudes no diagonales, discretas y probabilísticas en las mediciones de la orientación de cada uno de los espines del material.

Bibliografía

- [1]: Sakurai, J.-J., Modern quantum mechanics. Addison-Wesley (1985)
- [2]: Palma, G., Riveros, A., Condensed Matter Physics, Vol. 18, No 2, (2015)
- [3]: Chandrasekharan S., Wiese U.-J. Physical Review Letters 83, (1999) 3116 (1999).

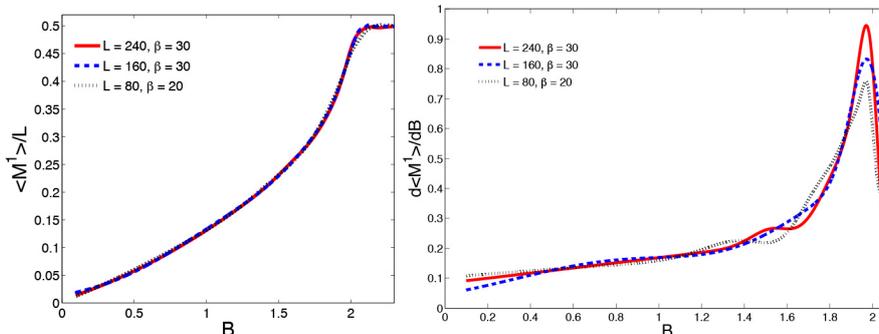


Figura 4

Magnetización y susceptibilidad magnética en función de la intensidad del campo magnético aplicado para una cadena de L espines a temperaturas muy bajas. Se puede ver que al aumentar el número de espines las curvas convergen hacia un comportamiento definido.