

¿Por qué un imán atrae algunos metales y otros no?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 009 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Un imán puede levantar un objeto de hierro sin mostrar una atracción evidente por una pieza de cobre de aspecto parecido. Ambos son metales y ambos conducen la electricidad. Por tanto, la conductividad eléctrica por sí sola no determina si un objeto inmóvil se pegará a un imán. La pregunta se refiere a la respuesta magnética del material y a la intensidad con la que esa respuesta se acopla al campo no uniforme que rodea al imán.

«Sin atracción evidente» no es lo mismo que «sin respuesta magnética». Las respuestas débiles pueden requerir mediciones sensibles, y algunas tienden a alejar una muestra de las regiones de campo más intenso. Una prueba con un imán en la mano divide los materiales según lo que resulta fácilmente visible, no según una clasificación física completa.

1. Los momentos microscópicos no producen automáticamente un imán

Los electrones aportan momentos magnéticos mediante sus propiedades cuánticas y su movimiento. Que esas contribuciones se cancelen, permanezcan débilmente correlacionadas o desarrollen un orden colectivo depende de la estructura electrónica y de las interacciones en el material. La clasificación elemental distingue diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo [1].

En una respuesta paramagnética, un campo aplicado produce una pequeña alineación neta de los momentos que la agitación térmica tiende a desordenar. La respuesta diamagnética se opone al campo aplicado. Estas categorías se refieren a la respuesta neta en un régimen declarado; un material real puede tener varias contribuciones a la vez. Sería incorrecto inferir que cada átomo aporta el mismo momento permanente o que todos los materiales paramagnéticos se alinean en una fracción fija.

El orden ferromagnético es distinto de muchos momentos independientes que simplemente siguen un campo externo. Las interacciones pueden favorecer una ordenación paralela en regiones del material. Explicar por qué una sustancia determinada se ordena requiere la estructura electrónica cuántica, no una imagen de electrones clásicos que giran como pequeños planetas mecánicos. Entre las consecuencias observables está una respuesta intensa y a menudo no lineal a un campo.

2. Una pieza de hierro puede contener dominios sin ser un imán permanente potente

Una muestra ferromagnética puede dividirse en dominios con magnetizaciones orientadas de distintas maneras. Su disposición reduce costes energéticos que compiten entre sí, incluidos el campo magnético exterior a la muestra y el coste de las fronteras entre dominios. La magnetización dentro de los dominios puede ser considerable mientras el efecto externo neto de la muestra es mucho menor [1,2].

Un campo aplicado puede favorecer el crecimiento de algunos dominios y cambiar las orientaciones de la magnetización. El material desarrolla entonces una respuesta neta alineada con el campo aplicado. La facilidad con que se mueven las fronteras depende de

la microestructura y de los defectos. Esto proporciona una vía física desde un objeto en gran medida desmagnetizado hasta otro fuertemente atraído.

El resultado después de retirar el campo no es universal. Algunos materiales conservan una magnetización considerable; otros están diseñados para cambiarla con facilidad y conservar poca en las condiciones pertinentes. El ferromagnetismo no garantiza que toda muestra se convierta en un imán permanente igual de potente tras cualquier exposición. La forma y la historia importan, además de la composición.

3. La atracción requiere una variación espacial

Un dipolo magnético ideal en un campo uniforme experimenta un momento de fuerza salvo que esté orientado adecuadamente, pero ninguna fuerza neta de traslación debida a ese campo uniforme. Para atraer un objeto pequeño hacia el imán, el campo debe variar en la región que ocupa. Por eso, la intensidad del campo y su gradiente responden a preguntas diferentes.

Para una muestra pequeña y débilmente magnética, con susceptibilidad isótropa aproximadamente lineal χ , correcciones desmagnetizantes despreciables y un campo B prescrito en el vacío circundante, una aproximación útil es $F = \chi V \nabla(B^2)/(2\mu_0)$. Aquí, V es el volumen de la muestra y μ_0 la permeabilidad del vacío. Un valor positivo de χ favorece las regiones de campo más intenso; uno negativo favorece las de campo más débil. La fórmula es un límite ilustrativo de respuesta lineal, no un modelo de un objeto de hierro fuertemente magnetizado en saturación.

El factor de un medio importa para un momento inducido. A medida que el campo aplicado crece desde cero, también crece la magnetización inducida; la energía debe tener en cuenta esa respuesta cambiante. Tratar el momento inducido final como un momento permanente fijo durante todo el proceso daría una expresión incorrecta de la energía. No se obtiene ninguna predicción numérica de fuerza sin conocer la respuesta del material y el mapa espacial del campo.

4. Por qué la conductividad no es la prueba decisiva

El cobre es un buen conductor eléctrico, pero el cobre corriente no adquiere la intensa respuesta ferromagnética del hierro. Su débil comportamiento magnético neto es una propiedad distinta de su capacidad para conducir corriente. Por tanto, una prueba con un imán inmóvil no identifica la conductividad, y un comprobador de continuidad no identifica el orden ferromagnético.

El movimiento relativo introduce otro fenómeno. Un flujo magnético cambiante a través de un conductor puede inducir corrientes, y los campos de estas pueden oponerse al cambio que las produjo. Por tanto, el frenado magnético de un conductor en movimiento no demuestra que sea ferromagnético. Es un efecto de inducción cuya magnitud depende de la geometría, el movimiento y la resistencia eléctrica.

La distinción también evita una interpretación errónea frecuente de las demostraciones: un imán que se mueve lentamente cerca de un objeto conductor puede encontrar una fuerza resistente aunque el mismo objeto no se pegue al imán inmóvil. Las dos observaciones examinan procesos diferentes. El título de este artículo se refiere a la atracción intensa que resulta familiar en una prueba con un imán quieto sostenido en la mano.

5. La temperatura y la historia del material pueden cambiar la respuesta

La agitación térmica puede destruir el orden ferromagnético de largo alcance por encima de una temperatura de transición que depende del material. Por debajo de esa temperatura, la respuesta medida sigue dependiendo de los dominios, la microestructura y el campo aplicado. El nombre de un material, sin especificar fase y condiciones, no basta para predecir una curva exacta de magnetización.

Las aleaciones lo muestran especialmente bien. Modificar la composición o el procesado puede cambiar la estructura cristalina y el comportamiento magnético. La categoría cotidiana de metal incluye muchas estructuras electrónicas, por lo que ninguna regla según la cual todos los metales sean atraídos con fuerza resiste siquiera una comparación básica. Tampoco la ausencia de atracción intensa nos dice que el material no contenga hierro en ninguna forma.

Una identificación rigurosa mediría la magnetización al variar el campo, preferiblemente con temperatura y geometría de la muestra controladas. Un ciclo de histéresis revela dependencia de la historia: el mismo campo aplicado puede acompañar estados de magnetización diferentes según el recorrido seguido para alcanzarlo. Una sola prueba de atracción no proporciona esa curva.

6. ¿Qué está establecido y qué sigue dependiendo de la muestra?

El marco establecido conecta los momentos microscópicos, la ordenación colectiva y la fuerza producida por un campo no uniforme. Los experimentos pueden distinguir respuestas débiles y reversibles de otras intensas, no lineales y dependientes de la historia. La intensidad exacta de una atracción concreta sigue siendo un problema cuantitativo que implica conjuntamente a la muestra y al imán.

La pregunta decisiva sobre el material es cómo se desarrolla y cambia la magnetización bajo el campo aplicado. La pregunta geométrica decisiva es cómo varía el campo en el espacio. Separarlas explica por qué dos objetos igualmente metálicos pueden comportarse de manera muy distinta.

Un imán atrae intensamente algunos metales porque sus interacciones electrónicas y su estructura de dominios permiten una magnetización grande, inducida o ya existente, que se acopla al gradiente del campo. Otros metales responden mucho más débilmente o con signo opuesto. La prueba cotidiana es útil, pero su aparente resultado de sí o no se apoya en una gama más rica y medible de comportamientos de los materiales.

Lectura relacionada: IDE-009, sobre los campos; IDE-021, sobre los campos cuánticos.

Referencias

[1] OpenStax. University Physics Volume 2, §12.7, Magnetism in Matter.

<https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/12-7-magnetism-in-matter>

[2] OpenStax. College Physics 2e, §22.2, Ferromagnets and Electromagnets.

<https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/22-2-ferromagnets-and-electromagnets>