

SUPERCONDUCTIVIDAD

GUÍA 5: DINÁMICA DE VÓRTICES: PROPIEDADES MAGNÉTICAS Y DE TRANSPORTE EN SUPERCONDUCTORES DE TIPO II

1. Considere una placa superconductora tipo II de espesor $2d$, inicialmente en estado Meissner. Se aplica una rampa ascendente de campo H , paralelo a la placa, hasta un campo máximo H_0 y luego se realiza un ciclo de histéresis, bajando el campo hasta $-H_0$ y volviendo a empezar el ciclo. Suponga que la densidad de corriente crítica J_c es independiente del campo, y que la rampa es suficientemente lenta como para aplicar el modelo de Bean.

- Grafique los perfiles de campo dentro de la muestra para distintos valores de H_0 mayores o menores que dJ_c .
- Halle la componente de la magnetización en la dirección del campo aplicado en función de H en las distintas partes del ciclo.
- ¿Cuál sería el efecto de la relajación de los perfiles de estado crítico en la respuesta? Explíquelo cualitativamente.

2. Considere la misma placa del problema anterior sometida a un campo

$$H(t) = H_{dc} + H_{ac} \cos(\omega t),$$

paralelo a la placa. Asumiendo $H_{ac} \leq dJ_c$, y en el marco del modelo de estado crítico de Bean,

- halle la magnetización media en función del tiempo, $M(t)$;
- analice la dependencia de las componentes χ' y χ'' de la susceptibilidad alterna con la amplitud y la frecuencia del campo alterno;
- discuta la existencia de armónicos superiores en la respuesta;
- ¿cuál sería el efecto de la relajación de los perfiles de estado crítico en la respuesta alterna?

3. La figura 1 muestra un lazo de magnetización $M(H)$ experimental medido en un superconductor de alta temperatura crítica. A esa temperatura, tanto la magnetización reversible como la irreversible son relevantes. En la geometría del experimento se puede despreciar el factor demagnetizante. Considere $D = 1$ mm la magnitud relevante de la muestra.

- Identifique el campo a partir del cual la respuesta es reversible, es decir, la corriente crítica es nula dentro de la resolución experimental.

- b. ¿Cómo haría a partir de estos datos para obtener la magnetización reversible M_r ? Grafique cualitativamente $M_r(H)$. Dé toda la información que pueda inferir sobre los campos críticos H_{c1} y H_{c2} a partir de esta curva.
- c. ¿Cómo haría para calcular la magnetización irreversible M_{irr} a partir de estos datos? Teniendo en cuenta eso, exprese la densidad de corriente crítica J_c en función del momento magnético medido y las dimensiones relevantes de la muestra. Estime en forma aproximada la J_c máxima.
- d. Grafique cualitativamente la dependencia de J_c con el campo B .

4. Despreciando el movimiento por activación térmica, escribir la ecuación de movimiento por unidad de volumen de un sistema de vórtices en presencia de una densidad de corriente generada por un campo alterno en los siguientes casos:

- a. Los vórtices oscilan a altas velocidades, de forma que predomina la fuerza viscosa.
- b. Los vórtices oscilan a bajas velocidades, de forma que predomina la fuerza de anclaje, y recorren distancias mayores que el tamaño de los centros de anclaje.
- c. Los vórtices oscilan a bajas velocidades, realizando pequeños desplazamientos respecto de los centros de anclaje.

Identifique a qué régimen corresponde cada caso.

5. Utilizando los resultados del problema anterior, exprese $\rho(\omega)$ para los casos en los que la relación constitutiva es lineal,

$$\mathbf{E} = \rho \mathbf{J},$$

donde ρ es una resistividad compleja.

6. Utilizando las expresiones para $\rho(\omega)$ del problema anterior, halle para una placa de espesor $2d$ en presencia de un campo

$$H(t) = H_{dc} + H_{ac} \cos(\omega t),$$

paralelo a la placa:

- a. La longitud de penetración alterna $\lambda(\omega)$.
- b. Las componentes χ' y χ'' de la susceptibilidad alterna para el caso ρ real.
- c. Las componentes χ' y χ'' de la susceptibilidad alterna para el caso ρ imaginaria.

Ayuda: No hace falta volver a calcular las componentes de la susceptibilidad; puede reciclar resultados de guías anteriores.

7. Calcular la densidad de corriente crítica de un SAT con una baja densidad de defectos puntuales distribuidos al azar, en el límite de anclaje de vórtices individuales. *Ayuda:* la energía de anclaje media de un segmento de vórtice de longitud L es

$$\langle \epsilon_{\text{pin}}^2 \rangle = \gamma \xi^2 L,$$

donde γ caracteriza la intensidad del desorden.

8. Mostrar que si las barreras de potencial entre los diferentes centros de anclaje, energías de activación, son finitas para $J \rightarrow 0$,

$$U(J \rightarrow 0) = U_0,$$

entonces hay una resistividad finita a corriente nula para $T > 0$. Hallar la expresión de $\rho(T)$ para $J \rightarrow 0$.

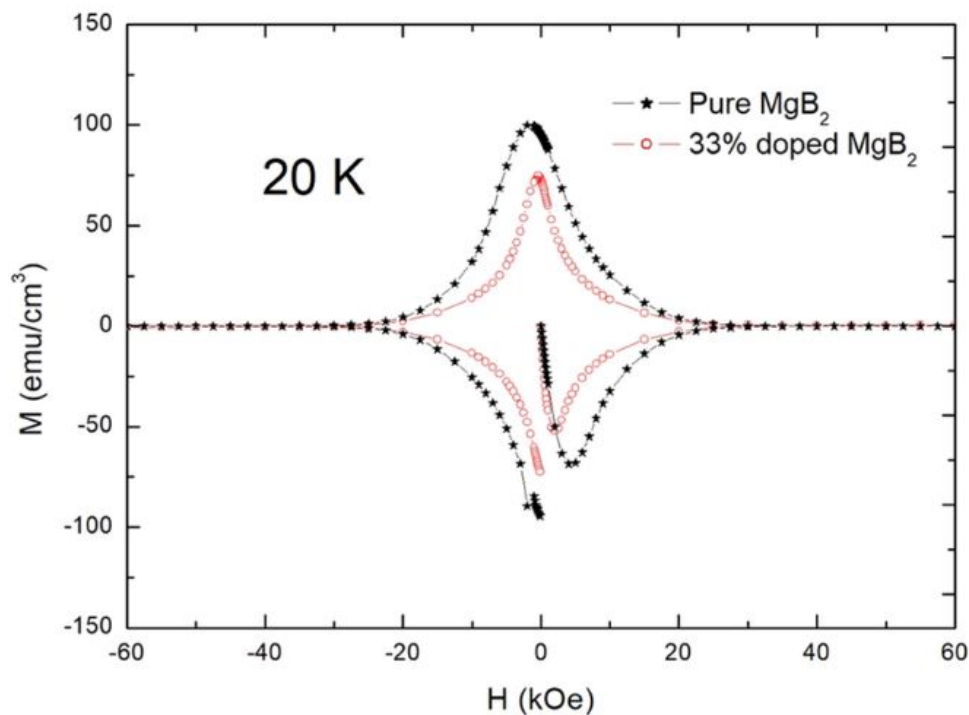


Figura 1: Lazo de magnetización para una muestra de MgB_2 pura (negro) y una dopada con Fe y Ti (rojo), medidos a $T = 20$ K. Fuente: H. Lee, et al. Applied Physics A **128**, 471 (2022).