

# SUPERCONDUCTIVIDAD

## GUÍA 3: TERMODINÁMICA Y ESTADO INTERMEDIO

---

### Propiedades termodinámicas

1. Demuestre que la diferencia de energía libre de Helmholtz por unidad de volumen entre las fases normal (n) y superconductor (s) es

$$f_n(T, 0) - f_s(T, 0) = \frac{\mu_0}{2} H_c^2(T).$$

2. Calcule la diferencia de entropía entre las fases normal (n) y superconductor (s),  $s_n(T, 0) - s_s(T, 0)$ , y demuestre que la diferencia de calor específico entre dichas fases es

$$c_n(T, 0) - c_s(T, 0) = \frac{2\mu_0 H_c^2(0)}{T_c} (t - 3t^3),$$

donde  $t = T/T_c$ . Asuma la relación  $H_c(T) = (1 - t^2)H_c(0)$ .

3. A partir de los resultados anteriores y los datos de calor específico provistos en la figura 1:

- estime el campo crítico  $H_c$  del aluminio;
- describa cómo cambian  $C_n^{\text{el}}(T)$  y  $C_s^{\text{el}}(T)$  en presencia de un campo  $H > 0$ .

4. Para una placa de espesor  $2d < \lambda_L$ , paralela al campo aplicado, cuyo campo crítico termodinámico *en volumen* es  $H_c$ , determine el campo  $H_c^*$  a partir del cual el sistema sale del estado Meissner.

### Estado intermedio

5. Se tiene una esfera superconductor de radio  $a \gg \lambda_L$  en un campo magnético uniforme de módulo  $H_0$  lejos de la esfera

- Identifique el campo a partir del cual se formarán regiones normales en el interior de la esfera.
- Calcule la fracción normal,  $\beta = V_N/V$ , en función de  $H_0/H_c$ .
- Grafique la evolución de  $m(H)$  desde  $H = 0$  hasta  $H = H_c$ .

6. Se tiene un objeto superconductor con factor demagnetizante  $\gamma_D$  en un campo magnético uniforme de módulo  $H_0$  lejos del objeto

- a. Identifique el campo a partir del cual se formarán regiones normales en el interior del objeto.
- b. Calcule la fracción normal,  $\beta = V_N/V$ , en función de  $H_0/H_c$ .
- c. Grafique la evolución de  $m(H)$  desde  $H = 0$  hasta  $H = H_c$ .

7. Se tiene una placa superconductora delgada, de espesor  $d \gg \lambda_L$ , en presencia de un campo uniforme perpendicular de magnitud  $H_0$ . En el estado intermedio, la muestra se divide en dominios normales y superconductores alternados formando una estructura laminar de período  $D$ . Considere que la energía por unidad de área en las interfaces normal-superconductor es  $\gamma = \frac{1}{2} \delta \mu_0 H_c^2$ , con  $d > \delta \gg \lambda_L$ ; y que la energía por unidad de área asociada a la deformación de las líneas de campo magnético fuera de la muestra es  $\Delta = D \beta^2 (1 - \beta)^2 \mu_0 H_0^2$ , donde  $\beta = V_N/V$ .

- a. Encuentre la fracción normal de la placa,  $\beta = V_N/V$ .
- b. Encuentre el tamaño típico del período laminar,  $D$ .
- c. Exprese, en función de  $\beta$  y  $D$ , los anchos de las regiones normal y superconductora.

8. Halle la corriente  $I_c$  a partir de la cual se forman regiones normales en un alambre superconductor de radio  $a \gg \lambda_L$  en los siguientes casos:

- a.  $\mathbf{H}_0 = 0$
- b.  $\mathbf{H}_0 \neq 0$  paralelo al alambre ( $\gamma_D = 0$ )
- c.  $\mathbf{H}_0 \neq 0$  perpendicular al alambre ( $\gamma_D = 1/2$ )

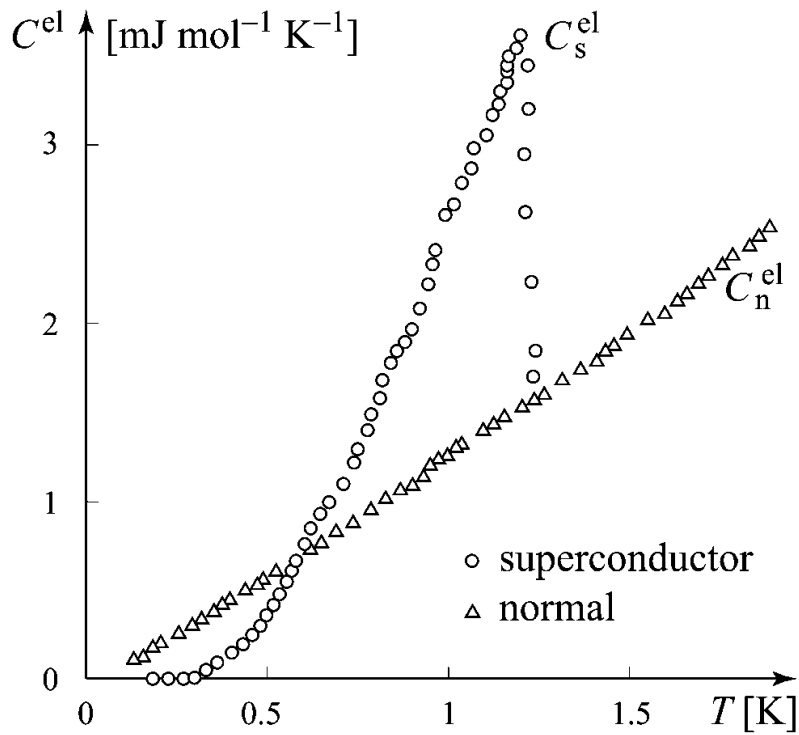


Figura 1: Calor específico electrónico de las fases superconductor ( $C_s^{\text{el}}, H = 0$ ) y normal ( $C_n^{\text{el}}, H = 30 \text{ mT}$ ) del aluminio, en función de la temperatura. Fuente: N.E. Phillips, *Phys. Rev.* **114**, 676 (1959).