1 Modelo de Ising

Implemente el modelo de Ising en 2D usando el algoritmo de Metropolis para la dinámica del *spin-flip*. Un tamaño razonable para ver comportamientos típicos es $N \times N = 32 \times 32$. No exagere con sistemas gigantes. Para hacer pruebas, empiece con 5×5. Considere $J = 1$ en el hamiltoniano, sin campo externo, y $k_B = 1$.

Calcule la evolución de la energía total por espín, y de la magnetización, para una temperatura fría, una caliente y una intermedia (por ejemplo 1.5, 5 y 2.35 respectivamente, pero puede usar otras si le parecen mejor).

Calcule un diagrama de fases de la magnetización vs. la temperatura, haciendo para cada valor de la temperatura unas 100 o 1000 realizaciones y calculando el valor medio y la desviación estándar en el régimen estacionario. Indicativamente, unos $10N$ son suficientes para termalizar, y puede medir en los $10N$ siguientes. Pruebe para su implementación observando la dinámica de la magnetización que calculó antes. Use valores de T entre 1.5 y 3.0, y recuerde que cerca de la transición ferromagnética la dinámica se hace leeeeenta.

Calcule, a partir de sus resultados, la temperatura de Curie (analíticamente, $T_C \approx 2.269185$).

Calcule la capacidad calorífica (por espín) usando las fluctuaciones de la energía total:

$$C = \frac{1}{N^2}\frac{\sigma_E^2}{kT^2}.$$

Puede usar un sistema chico (5×5), dejando pasar un transitorio de unas 1000 iteraciones y midiendo la energía durante algunas miles de iteraciones posteriores. Calcule la temperatura de Curie a partir del resultado. Para sistemas más grandes le dará un pico más estrecho.

Grafique la configuración del sistema al tiempo final, para las temperaturas fría, caliente e intermedia que usó antes, observando la diferencia en el orden de los espines.

2

Suponga un campo magnético externo periódico:

$$H(t) = H_0 \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right),$$

donde tanto t como el período τ son iteraciones del sistema. Calcule la magnetización m para varias amplitudes H_0 y temperaturas menores que

T_C (por ejemplo: $H_0 = .25, T = 1.75$; $H_0 = .2, T = 1.66$; $H_0 = .075, T = 2.0$; $H_0 = .01, T = 2.35$). Analice los resultados, graficando $m(t)$ junto a $H(t)$ en cada caso. Usando un período de cada gráfico, grafique las trayectorias del sistema en el espacio de fases (H, m).