

## C.24 Model isinga ferromagnetyka

Paweł Rzońca

### Wstęp

Dokładny opis projektu znajduje się na stronie [1].

Dobrym rozróżnieniem pomiędzy różnymi magnetykami jest zachowanie się podatności magnetycznej  $\chi$  wraz ze zmianą temperatury (1). Dla ferromagnetyka w obszarze paramagnetycznym ( $T \gg T_C$ ) spełnione jest prawo Curie-Weissa

$$\chi = \frac{C}{T - T_C}, \quad (1)$$

gdzie  $T_C$  jest temperaturą Curie, a  $C$  jest stałą.

### Metodyka

W programie zaimplementowano algorytm podany w ćwiczeniu [1]. Do przeglądania sieci wybrano metodę Monte Carlo. Za jeden krok MCS (Monte Carlo Step) przyjęto sprawdzenie możliwości odwrócenia spinów w  $N$  węzłach.

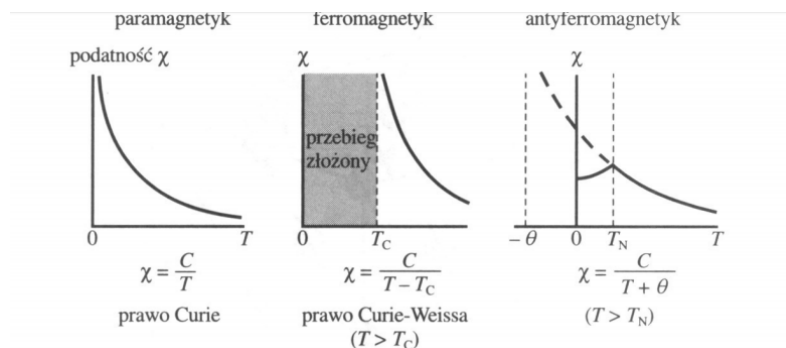
We wstępnych fazach doświadczenia zbadano zachowanie układu w zależności od ilości kroków  $N_{MC}$ . Dla różnych wielkości siatki oraz różnych temperatur (wykresy 2 - 5).

Widzimy iż układ osiąga porządkany stan szybciej dla małych siatek. Oznacza to że z rozmiarem siatki musimy zwiększać ilość kroków co powoduje wydłużenie czasu obliczeń. Z tego względu zdecydowano się na siatkę o rozmiarze  $32 \times 32$ . Widzimy, iż układ ustala się we właściwej pozycji już po 150 MCSs. W doświadczeniach przyjęto siatkę o wielkości **32x32** oraz **200 MCS**.

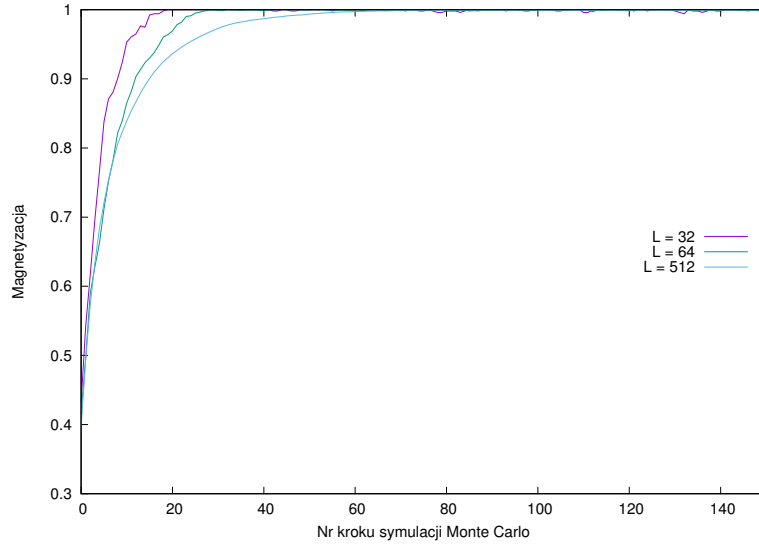
### Wyniki

#### Ferromagnetyk

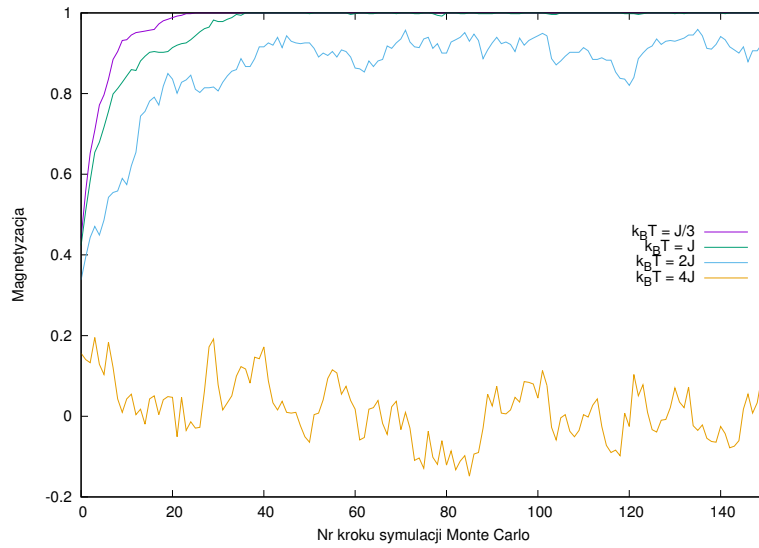
Sporządzono wykresy 6 i 7 zależności magnetyzacji od temperatury dla ferromagnetyków o różnych całkowitych wymiarach. Widzimy, że skalując temperaturę czynnikiem  $k/J$  otrzymujemy zawsze tę samą tempe-



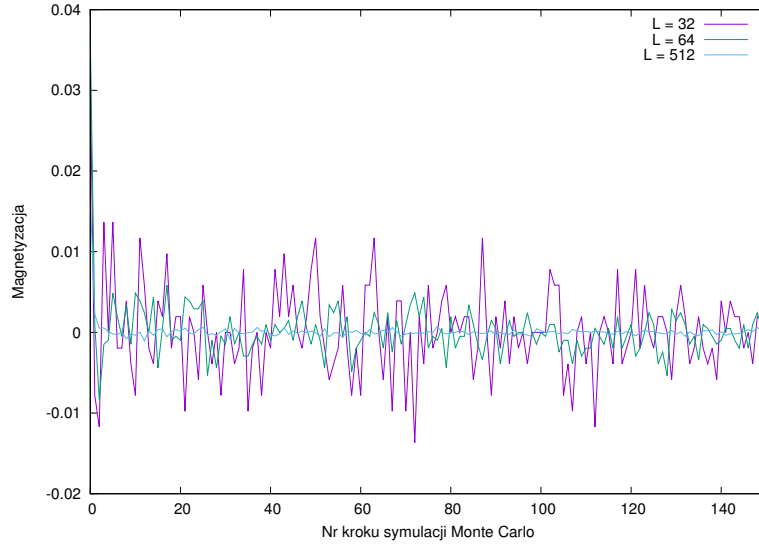
Rysunek 1: Podatność magnetyczna dla różnych materiałów od temperatury materiału. Źródło [2].



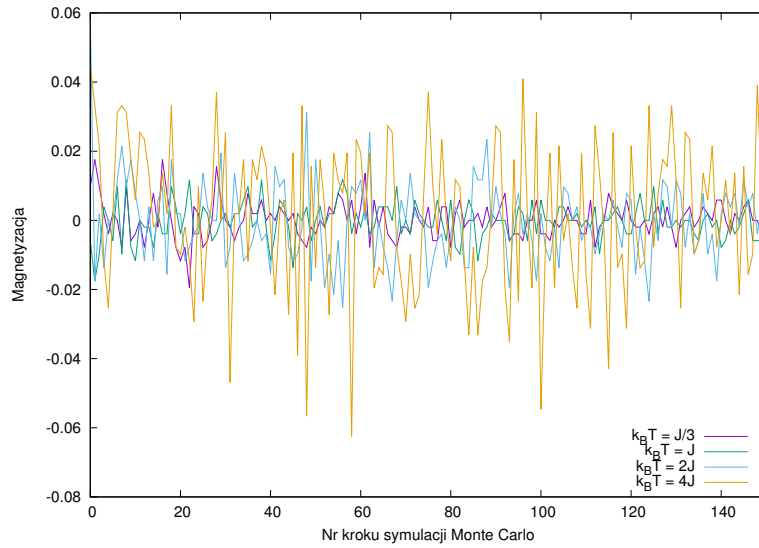
Rysunek 2: Porównanie szybkości stabilizacji układu dla różnych wielkości siatki w przypadku ferromagnetyka  $J = 0.05 \text{ eV}$  w temperaturze  $kT = J$ .



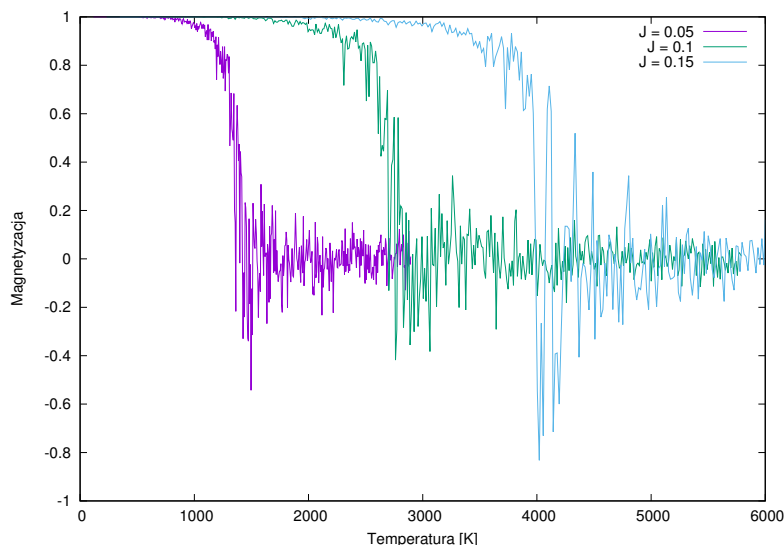
Rysunek 3: Porównanie szybkości stabilizacji układu dla różnych temperatur w przypadku ferromagnetyka  $J = 0.05 \text{ eV}$  przy siatce wielkości  $32 \times 32$ .



Rysunek 4: Porównanie szybkości stabilizacji układu dla różnych wielkości siatki w przypadku antyferromagnetyka  $J = -0.05 \text{ eV}$  w temperaturze  $kT = J$ .



Rysunek 5: Porównanie szybkości stabilizacji układu dla różnych temperatur w przypadku antyferromagnetyka  $J = -0.05 \text{ eV}$  przy siatce wielkości  $32 \times 32$ .



Rysunek 6: Zależność magnetyzacji od temperatury dla ferromagnetyków.

ratułę przejścia  $T_C$  w okolicach  $kT/J = 2 - 2,5$ . Oznacza to że temperatura Curie  $T_C$  jest proporcjonalna do całki wymiany  $J$ .

Na wykresie 9 widzimy zachowanie się modelu ferromagnetyka w polu zewnętrznym  $H$  dla różnych temperatur. Dla niskich temperatur  $T < T_C$  obserwujemy charakterystyczną dla ferromagnetyka pętlę histerezy. Ze wzrostem temperatury pętla się zwięża. Przy dostatecznie wysokiej temperaturze uporządkowanie znika i ferromagnetyk przechodzi w paramagnetyk (liniowa zależność od przyłożonego pola).

Następnie dla temperatur wyższych niż oszacowana  $T_C = 2 - 2,5J/k$  sporządzono wykres podatności magnetycznej od temperatury. Podatność magnetyczną wyznaczano ze wzoru  $M(H) = \chi H$  w obszarze paramagnetycznym gdzie zależność ta była liniowa. Do otrzymanych punktów dopasowano krzywą zgodną z prawem Curie-Weissa. Otrzymano w ten sposób wartość  $T_C = 2,35J/k$ . Należy zaznaczyć iż wyznaczono niewiele punktów pomiarowych ze względu na długość obliczeń.

## Antyferromagnetyk

Znalogicznie jak dla ferromagnetyka wyznaczono zależność magnetyzacji od temperatury (wykresy 10 i 11). Analogicznie obserwujemy, że temperatura przejścia  $T_N$  (Neela) jest proporcjonalna do całki wymiany  $J$ .

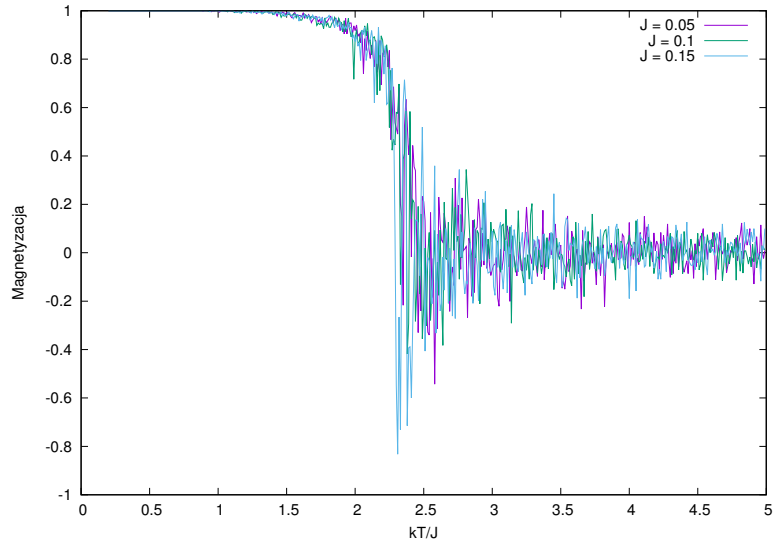
Wyznaczono również zależność magnetyzacji od przyłożonego pola (wykres 12). Widzimy, że wraz z obniżaniem temperatury wykres robi się bardziej stromy. Tak jak poprzednio przy dużych temperaturach przechodzi w paramagnetyka.

## Podsumowanie

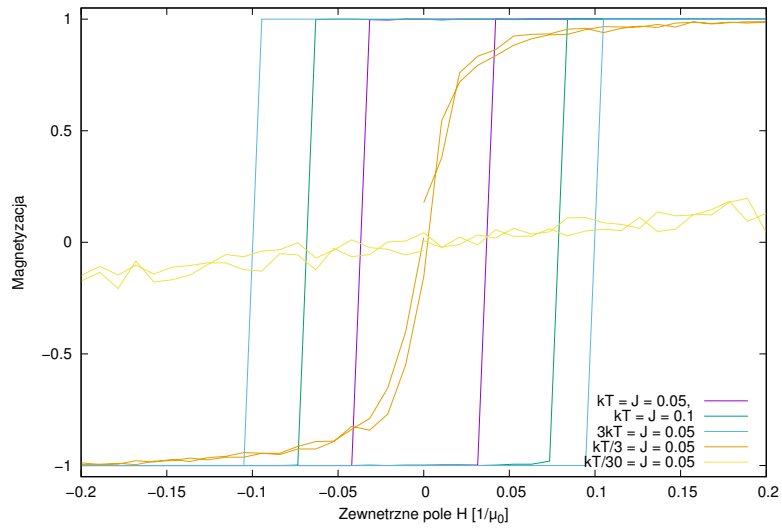
W ćwiczeniu zaimplementowano model Isinga. Zbadano zależność magnetyzacji od temperatury oraz zewnętrznego pola zarówno w ferromagnetyku jak i antyferromagnetyku. W niskich temperaturach momenty magnetyczne w ferromagnetyku ustawiają się równolegle, a w ferromagnetyku antyrównolegle. Wykorzystując prawo Curie-Weissa wyznaczono temperaturę Curie ferroamgnetyka.

## Literatura

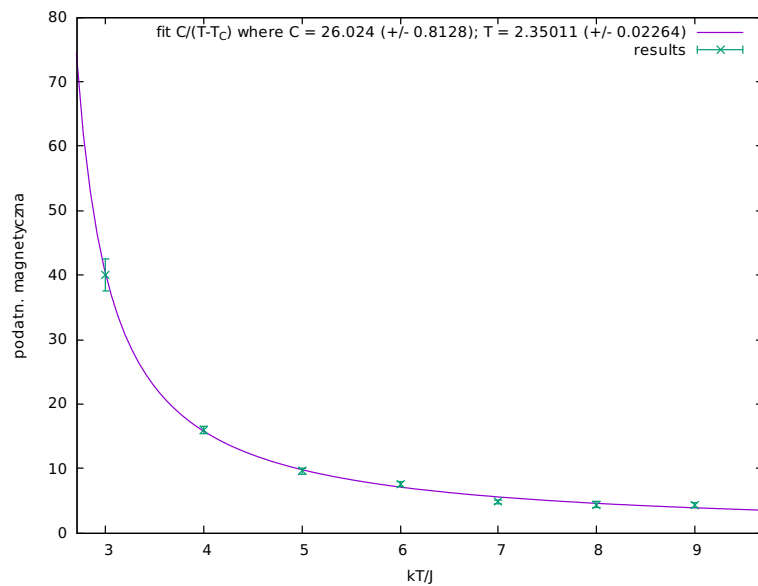
- [1] [http://newton.fis.agh.edu.pl/~wojcik/mof/mof1/Projekty\\_C.pdf](http://newton.fis.agh.edu.pl/~wojcik/mof/mof1/Projekty_C.pdf)



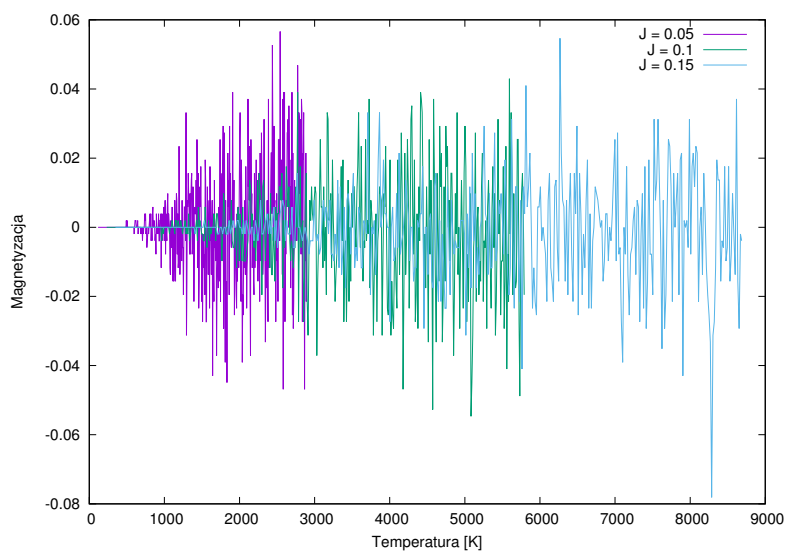
Rysunek 7: Zależność magnetyzacji od temperatury dla ferromagnetyków.



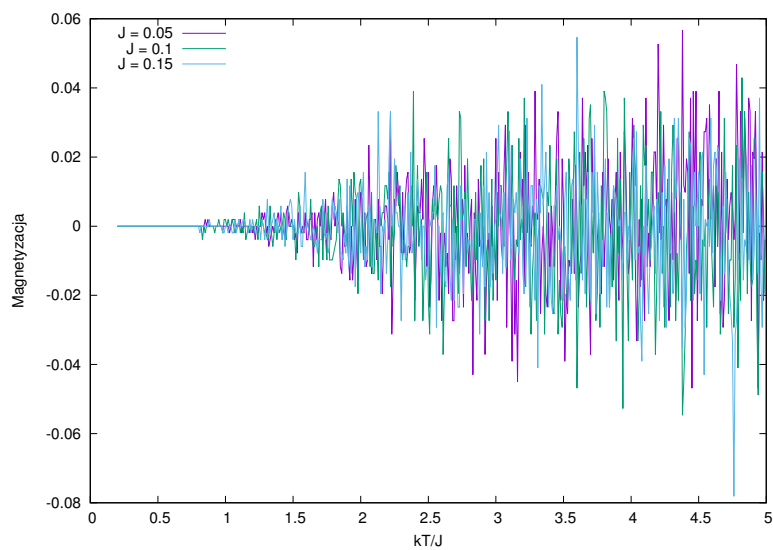
Rysunek 8: Zależność magnetyzacji od przyłożonego pola  $H$  dla ferromagnetyków.



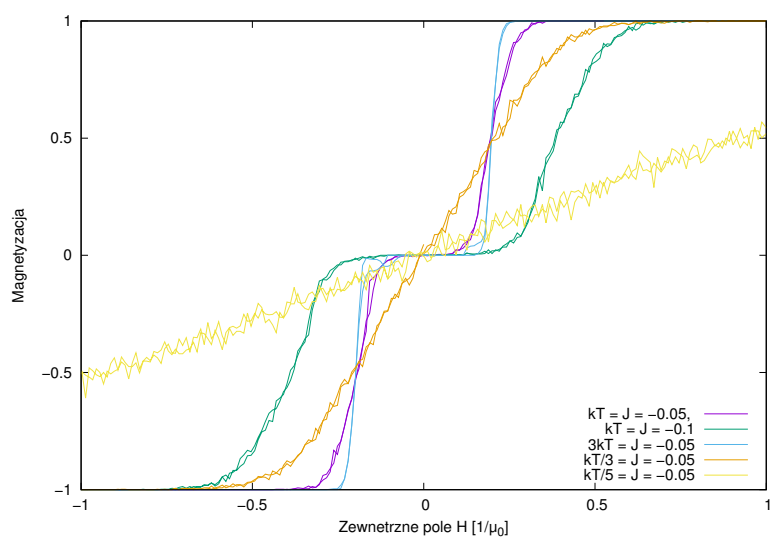
Rysunek 9: Zależność magnetyzacji od przyłożonego pola  $H$  dla ferromagnetyków.



Rysunek 10: Zależność magnetyzacji od temperatury dla ferromagnetyków.



Rysunek 11: Zależność magnetyzacji od temperatury dla ferromagnetyków.



Rysunek 12: Zależność magnetyzacji od przyłożonego pola  $H$  dla antyferromagnetyków.

[2] Charles Kittel, "Wstęp do fizyki ciała stałego", wydanie I, wyd. PWN, Warszawa 1999