

TEORIA DE CAMPO MÉDIO E SUA APLICAÇÃO EM TRANSIÇÕES DE FASE FERROMAGNÉTICA E SUPERCONDUTORA

Ítallo Péricles Dias Dos Santos², Luizdarcy de Matos Castro³,

RESUMO

A teoria de campo médio é uma abordagem simplificada amplamente utilizada no estudo de transições de fase em sistemas de muitos corpos. Este trabalho discute a aplicação dessa teoria em dois contextos distintos: transições ferromagnéticas e supercondutoras. No ferromagnetismo, o modelo de Weiss descreve a transição paramagnético-ferromagnética através de um campo molecular efetivo, resultando na Lei de Curie-Weiss. Na supercondutividade, a teoria BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) utiliza uma aproximação de campo médio para descrever a formação de pares de Cooper e o surgimento de um gap de energia. Ambas as teorias permitem prever temperaturas críticas e comportamentos termodinâmicos próximos à transição, embora negligenciem flutuações críticas. Este trabalho destaca a versatilidade da teoria de campo médio na descrição de fenômenos complexos em materiais condensados.

PALAVRAS-CHAVE: BCS, campo molecular, ferromagnetismo, supercondutividade, teoria de campo médio, transição de fase.

TITLE MEAN FIELD THEORY AND ITS APPLICATION IN FERROMAGNETIC AND SUPERCONDUCTING PHASE TRANSITIONS

ABSTRACT

Mean field theory is a simplified approach widely used in the study of phase transitions in many-body systems. This work discusses its application in two distinct contexts: ferromagnetic and superconducting transitions. In ferromagnetism, the Weiss model describes the paramagnetic-ferromagnetic transition through an effective molecular field, resulting in the Curie-Weiss Law. In superconductivity, the BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) theory uses a mean field approximation to describe the formation of Cooper pairs and the emergence of an energy gap. Both theories allow the prediction of critical temperatures and thermodynamic behaviors near the transition, although they neglect critical fluctuations. This work highlights the versatility of mean field theory in describing complex phenomena in condensed matter.

KEYWORDS: BCS, ferromagnetism, mean field theory, molecular field, phase transition, superconductivity.

INTRODUÇÃO

A teoria de campo médio é uma ferramenta fundamental na física estatística para tratar sistemas interagentes complexos. Ela substitui as interações entre partículas por um campo efetivo médio, simplificando o problema original. Esse método é aplicado em diversas transições de fase, como ferromagnetismo e supercondutividade. No ferromagnetismo, o modelo de Weiss substitui as interações de spin por um campo molecular efetivo, introduzindo, assim, um campo molecular proporcional à magnetização, permitindo descrever a transição de fase (ferromagnética-paramagnética) e prever a temperatura de Curie (Silva, 2021). Na supercondutividade, a teoria BCS utiliza uma aproximação similar para descrever a formação de pares de elétrons (pares de Cooper) e o surgimento de um estado supercondutor com gap de energia (PUREUR, 2012). Este trabalho explora como a teoria de campo médio é aplicada nesses dois contextos, destacando suas previsões e limitações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é teórico e baseia-se em revisão bibliográfica de caráter qualitativo. Foi utilizado como referência o livro do Salinas (2005) e artigos científicos que abordam a teoria de campo médio no ferromagnetismo (modelo de Curie-Weiss) e na supercondutividade (teoria BCS). A metodologia consistiu na exploração conceitual dos fundamentos matemáticos e físicos dessas teorias, com ênfase na descrição das transições de fase e no cálculo de grandezas termodinâmicas, como temperaturas críticas e gaps de energia. Também foi feita uma comparação com resultados experimentais da aplicação da teoria de Curie-Weiss em propriedades magnéticas e estruturais do composto $\text{BaLa}_2\text{ZnO}_5$ dopado com elementos de Gd, Er e Yb (SILVA, 2021), para verificar a eficiência da teoria de campo médio e do modelo de Curie-Weiss na transição ferromagnética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ferromagnetismo, a teoria de campo médio (modelo de Weiss) prevê que a susceptibilidade magnética diverge na temperatura de Curie, seguindo a Lei de Curie-Weiss (SILVA, 2021). Essa abordagem captura a transição de fase, mas não considera flutuações espaciais, limitando sua precisão próximo a temperatura de Curie. Na supercondutividade, a teoria BCS utiliza uma aproximação de campo médio para substituir o termo quadrático do Hamiltoniano por termos lineares levando a diagonalização por meio da aproximação de Bogoliubov-Valatin. Ela prevê um gap de energia, $\Delta(T)$, que varia com a temperatura e se anula na temperatura de Curie.

Ambas as teorias são bem-sucedidas em prever comportamentos macroscópicos, mas falham em regiões críticas próximo as transições de fase.

CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES

A teoria de campo médio é uma abordagem poderosa e versátil para descrever transições de fase em sistemas de muitos corpos, como o ferromagnetismo e a supercondutividade. Embora simplificada, fornece previsões qualitativas importantes, como as temperaturas críticas e os comportamentos termodinâmicos. No entanto, suas limitações tornam-se evidentes próximo às transições, onde as flutuações críticas desempenham papel essencial. Como conclusão deste trabalho, apesar das limitações, verificou-se a eficiência dessa teoria, pois, por meio de uma análise experimental (SILVA, 2021), foi possível comparar os resultados teóricos com os obtidos experimentalmente para a magnetização e a suscetibilidade magnética. Aplicações modernas frequentemente combinam a teoria de campo médio com métodos mais avançados, a fim de descrever de forma mais precisa fenômenos complexos em materiais condensados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PUREUR, P. Supercondutividade: uma introdução. Texto correspondente à 5ª Aula. Escola do CBPF, 2012.
2. SALINAS, S. R. A. *Introdução à Mecânica Estatística*. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2005.
3. SILVA, O. B. M. Estudo das Propriedades Magnéticas e Estruturais do Composto $BaLa_2ZnO_5$ dopados com elementos de Gd, Er e Yb. Uberlândia: UFU, 2021.