

Título: Elementos de la Teoría de los Fenómenos Críticos

Año: 2021

Cuatrimestre: segundo

Carga horaria: 60 hs

Docente encargado: Sergio A. Cannas

Fundamentos:

El estudio de los fenómenos críticos en sistemas en equilibrio termodinámico es probablemente el desarrollo teórico más acabado y exitoso de la Física Estadística. El mismo encuentra su campo de aplicación principal en los sistemas comprendidos dentro del área de la Física conocida como Materia Condensada. Así, la Teoría de los Fenómenos Críticos constituye una herramienta indispensable para quienes trabajan en dicha área.

Por otra parte, en la última década se ha detectado la existencia de fenómenos críticos en sistemas fuera del equilibrio en áreas que exceden la propia Física, tales como neurociencias, clima, geología, biología celular, medios granulares, etc., solo por citar algunos ejemplos. En muchos de estos casos, se ha encontrado que la fenomenología general encuadra casi al detalle en el formalismo originalmente desarrollado para sistemas en equilibrio termodinámico. Así, resulta de interés el conocimiento del formalismo básico para estudiantes de Doctorado en Física que desarrollen sus trabajos de Tesis en áreas afines a la Física Estadística, Materia Condensada, Materia Blanda, Biofísica y Sistemas Complejos en General.

Objetivos:

El objetivo general del curso es dotar a los estudiantes tanto del conocimiento general de la teoría, como de herramientas de cálculo específicas. El curso comienza con una descripción general de la fenomenología de los Fenómenos Críticos, continúa con las teorías clásicas (teorías de campo medio) y culmina con las teorías de escala y el Grupo de Renormalización. A título de aplicación, se incluyen también algunas nociones acerca del tratamiento del fenómeno de percolación.

Entre los objetivos particulares se espera que los estudiantes asimilen no solo los rudimentos teóricos, como también desarrollen un mínimo de capacidad para realizar cálculos de campo medio, Monte Carlo, Grupo de Renormalización y análisis de escala con el tamaño de modelos standard en la Mecánica Estadística, tales como el Modelo de Ising, Potts, Esférico, Landau-Ginzburg, Percolación de sitios, etc..

PROGRAMA

Unidad I: Introducción: Nociones básicas de transiciones de fase continuas.

Fenomenología. Ejemplos de transiciones de fase continuas. Caracterización de transiciones de fase continuas: parámetro de orden y exponentes críticos. Universalidad. Termodinámica y Mecánica Estadística de transiciones de fase. Ejemplos de Modelos Clásicos: Modelos de Ising, Heisenberg, Potts, etc.. Límite termodinámico. Ruptura espontánea de simetría.

Unidad II: Modelos exactamente solubles.

Algunos modelos exactamente solubles para fluidos. Gases de Tonks y Takhshi. Argumento de Ornstein para el gas de Van der Waals.

Método de matriz de transferencia para modelos definidos sobre redes.

Solución exacta de modelos unidimensionales: modelo de Ising y modelo n-vectorial.
No existencia de transiciones de fase en sistemas unidimensionales con interacciones de corto alcance.
Análisis de la solución exacta de Onsager en $d=2$.
Modelos Gaussiano y Esférico. Modelo de Curie-Weiss.

Unidad III: Teorías clásicas de los Fenómenos Críticos.

Teoría de campo medio. Desigualdades variacionales. Aproximación de Bethe-Peierls.
Soluciones de modelos definidos en arboles de Cayley y red de Bethe.
Teoría fenomenológica de Landau. Transiciones de fase de primer orden en la teoría de Landau. Puntos tricríticos. Teoría de Landau-Ginzburg. Criterio de Ginzburg.

Unidad IV: Simulaciones Numéricas en Física Estadística mediante el Método de Monte Carlo.

Generalidades sobre el Método de Monte Carlo. El Método de Monte Carlo en Física Estadística.
Cadenas de Markov y balance detallado. Algoritmos de Monte Carlo: Metropolis, Glauber, etc.

Unidad V: Teorías de escala

Funciones homogéneas generalizadas. La hipótesis de escala y relaciones entre exponentes críticos.
Spines de bloque y relaciones de escala para las funciones de correlación. Hipótesis de escala dinámica.

Unidad VI: Grupo de Renormalización

El Grupo de Renormalización en el espacio real. Puntos fijos, estabilidad, homogeneidad de las funciones termodinámicas y universalidad. Ejemplos de transformaciones de renormalización.
Nociones de Grupo de Renormalización en el espacio de los momentos.
Grupo de Renormalización y transiciones de fase discontinuas.
Efectos de "crossover".
Teorías de escala con el tamaño finito. Aplicaciones en simulaciones numéricas

Unidad VII: Percolación

Fenomenología y descripción general. Solución en una dimensión. Campo medio: solución en la red de Bethe. Percolación en la red de Erdős-Rényi. Exponentes críticos y relaciones de escala.

Bibliografía:

- N. Goldenfeld, Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group, Frontiers in Physics **85**, Addison-Wesley Publishing Co. (1992).
C. J. Thompson, Classical Equilibrium Statistical Mechanics, Clarendon Press, Oxford (1988).
K. Huang, Statistical Mechanics, 2nd ed., John Wiley & Sons, (1987).
J. J. Binney, N. J. Dowrick, A. J. Fisher and M. E. J. Newman, The Theory of Critical Phenomena: an Introduction to the Renormalization Group, Oxford Science Publications (1993).
D. Stauffer and A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, 2nd ed., Taylor & Francis Ltd., London (2003)
H. Nishimori and G. Ortiz, Elements of Phase Transitions and Critical Phenomena, Oxford University Press, 2011.