

TÓPICOS EN MECÁNICA ESTADÍSTICA

Profesor: Gabriel Téllez

gtellez@uniandes.edu.co

Oficina Ip-501

Semestre 2024-1

I. Presentación

La física es una ciencia con la que hemos podido entender los fenómenos naturales desde las escalas más pequeñas de las partículas elementales hasta las escalas más grandes de las galaxias. La mecánica estadística es el área de la física que permite conectar estas diferentes escalas y entender como el comportamiento a nivel microscópico de un sistema influye en su comportamiento a nivel macroscópico. A través de un análisis estadístico, la mecánica estadística le da sustento a la termodinámica.

Este curso aborda el estudio de tres tópicos particulares de mecánica estadística: la teoría de fluidos simples en equilibrio termodinámico, las matrices aleatorias y la termodinámica estocástica. Estos temas son interdisciplinarios ya que las herramientas que se aprenderán en el curso son aplicables a otras áreas de la física tales como la mecánica cuántica, el estudio de sistemas caóticos, la teoría de campos y los procesos estocásticos.

II. Duración, créditos y requisitos

Es un curso de nivel de posgrado pero abierto a estudiantes de pregrado que cumplan con los pre-requisitos. La duración del curso es de 16 semanas. El curso es de 4 créditos que supone una dedicación semanal de 12 horas repartidas en 3 horas de clase presencial y 9 horas de trabajo individual, siguiendo la proporción 1 hora presencial, 3 de trabajo individual, usual para cursos de posgrado. Los requisitos previos son:

- Estudiantes de Posgrado de Física: sin pre-requisitos.
- Estudiantes de Pregrado: pre-requisitos: Física Estadística (FISI-3040) Y Mecánica Cuántica 1 (FISI-3010).

III. Programa y objetivos por unidad temática

El curso aborda tres tópicos especiales a los cuales se les dedicará en promedio cinco semanas a cada uno.

III.1. Elementos de la teoría estadística de fluidos simples en equilibrio termodinámico.

- Formalismos canónico y gran-canónico, funciones de correlación.
- Métodos diagramáticos de Mayer, expansión del virial.
- Ecuaciones de la jerarquía Born-Green-Yvon.
- Función de correlación directa, ecuación de Ornstein-Zernike.
- Teorías aproximadas.
- Teoría funcional de la densidad.

Objetivos

Al finalizar esta unidad temática, el estudiante será capaz de realizar expansiones diagramáticas y aplicar la teoría funcional de la densidad para el estudio de las propiedades termodinámicas, en particular la presión, y correlaciones de fluidos simples en equilibrio termodinámico.

Bibliografía

- *Teoría estadística de fluidos simples en equilibrio*, A. E. Rodríguez y R. E. Caligaris.
- *Theory of Simple Liquids*, J.-P. Hansen, I. R. McDonald.
- *Fundamentals of Inhomogeneous Fluids*, ed. D. Henderson.
- *Statistical Mechanics*, F. Schwabl.
- *Statistical Mechanics*, K. Huang.
- *Statistical Mechanics*, D. A. McQuarrie.

III.2. Matrices aleatorias.

- Matrices aleatorias en diferentes campos de la física y las matemáticas: física nuclear, caos cuántico, ceros de la función zeta de Riemann.
- Conjuntos Gaussianos de matrices: ortogonal, unitario y simpléctico.
- Termodinámica y correlaciones de los valores propios. Analogía con gases de Coulomb.

Objetivos

Al finalizar esta unidad temática, el estudiante conocerá la clasificación de los ensambles de matrices aleatorias y podrá aplicar la teoría de matrices aleatorias en varios campos de la física, y en particular aplicar la analogía electrostática entre los valores propios de las matrices aleatorias y los gases de Coulomb. El estudiante también será capaz de calcular analíticamente las propiedades termodinámicas y las correlaciones entre valores propios del ensamble gaussiano unitario y el ensamble circular unitario.

Bibliografía

- *Random Matrices*, M. L. Mehta.
- *Log-Gases and Random Matrices*, P. J. Forrester.

III.3. Termodinámica estocástica.

- Procesos estocásticos, procesos de Markov.
- Ecuación de Langevin, ecuación de Fokker-Planck.
- Calor, trabajo y primera ley de la termodinámica para procesos estocásticos.
- Producción de entropía, teoremas de fluctuación y segunda ley de la termodinámica.
- Aplicaciones a algunos sistemas mesoscópicos.

Objetivos

Al finalizar esta unidad temática, el estudiante conocerá los principios básicos de la termodinámica estocástica. Entenderá cómo se definen calor y trabajo para sistemas mesoscópicos y su carácter estocástico. Podrá analizar cómo es la producción de entropía en sistemas fuera del equilibrio y como esta obedece ciertas relaciones exactas conocidas como teoremas de fluctuación. Podrá aplicar estos conceptos en casos particulares tales como partículas brownianas controladas externamente.

Bibliografía

- *Stochastic Energetics*, K. Sekimoto.
- *An Introduction to Stochastic Thermodynamics: From Basic to Advanced*, N. Shiraishi.

IV. Metodología

El curso contiene una presentación teórica de los temas a tratar además de ejemplos y ejercicios a desarrollar en clase o en tarea.

1. **Tareas.** Durante el semestre se repartirán varias tareas para desarrollar fuera de clase y entregar posteriormente al profesor. Las tareas son *individuales*. En general se dará de unas dos semanas de tiempo para desarrollar las tareas.
2. **Ejercicios en clase.** Algunas sesiones de clase se dedicarán a la resolución de ejercicios por parte de los estudiantes. El enunciado de los ejercicios se publicará en bloque neón con anterioridad. En el calendario se indica que día y que estudiantes deben preparar con anterioridad y presentar la solución de los ejercicios durante la clase. En la presentación de la solución se debe hacer un ejercicio pedagógico, no solo resolviendo correctamente el ejercicio sino también presentándolo lo más claramente posible al público.

Adicionalmente todos los estudiantes deberán resolver por lo menos 3 de los ejercicios asignados y subir su solución al bloque neón a más tardar al día siguiente de la sesión de ejercicios.

V. Evaluación

- 3 exámenes parciales: 20 % cada uno.
- Tareas: 20 %
- Ejercicios en clase - presentación oral: 5 %
- Ejercicios en clase - entregas escritas: 15 %