

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS-DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mecánica Estadística

PROGRAMA CALENDARIO
(Primer Semestre Académico de 2024)

Horario Clase	Lunes, 2 p.m.- 4 p.m. Jueves, 2 p.m.- 4 p.m.
Aula de Clase	Auditorio José Granes Sellares, Edif. 405-203
Horario de Atención y Consultas	Martes y Viernes, 2 p.m. – 4 p.m. via Google-Meet. E-mail: cjquimbayh@unal.edu.co

OBJETIVOS

1. Introducir los conceptos, métodos y aplicaciones de la mecánica estadística en equilibrio.
2. Justificar teóricamente la termodinámica fenomenológica y su sistema de conceptos vía los ensambles estadísticos y el operador densidad de probabilidad.
3. Fomentar la asimilación del formalismo de la mecánica estadística en equilibrio, a través de la solución de problemas y análisis de resultados.
4. Introducir al estudiante en las actuales formas de trabajo inter(trans)-disciplinarias, teniendo en cuenta que algunos conceptos y herramientas de la mecánica estadística son aplicadas para abordar y solucionar problemas en diversas áreas del conocimiento fuera de la física, lo cual es un hecho característico dentro de las comunidades científicas globales.

CONTENIDO PROGRAMATICO

1. **Recuento de aspectos relevantes para la mecánica estadística (1 clase)**
Termodinámica; Mecánica Analítica I; Mecánica Cuántica I; Probabilidad y Estadística.
2. **Fundamentos de la mecánica estadística desde la perspectiva clásica (1.5 clases)**
Mecánica clásica de un sistema de N partículas: Formalismo de la mecánica analítica para una partícula; formalismo de la mecánica analítica para un sistema de N partículas; espacio de fase para un sistema de N partículas independientes. Formulación clásica del teorema de Liouville: A partir de flujo de puntos representativos perpendiculares a hipersuperficies; a partir de la ecuación de un fluido incompresible. Postulado fundamental y principio de ergodicidad: Postulado fundamental de la mecánica estadística; hipótesis de ergodicidad. Número de microestados y volumen en el espacio de fase: Número de microestados: volumen total en el espacio de fase para el gas ideal. Ejemplos.
3. **Fundamentos de la mecánica estadística desde la perspectiva cuántica (1.5 clases)**
Formulación de la mecánica cuántica de un sistema de N partículas: Mecánica cuántica para una partícula sin grado de libertad interno; mecánica cuántica de un sistema de N partículas idénticas y distinguibles sin grado de libertad interno. Sistema termodinámico como un sistema cuántico: Sistema termodinámico aislado; sistema termodinámico interactuando con el mundo exterior; sistema termodinámico interactuando débilmente con el mundo exterior; concepto de ensamble estadístico. Operador matriz densidad de probabilidad: Postulado fundamental de la mecánica estadística; principio de ergodicidad. Versión cuántica del teorema de Liouville. Elemento mínimo de volumen en el espacio de

fase: Para una partícula libre en un pozo de potencial infinito unidimensional; para una partícula en pozo de potencial infinito tridimensional; para un gas ideal de N partículas distinguibles en un contenedor cúbico; para un oscilador armónico unidimensional. Ejemplos.

4. Ensamble estadístico microcanónico (2 clases)

Ensamble cuántico microcanónico: Distribución de probabilidad microcanónica; método de multiplicadores de Lagrange para la distribución de probabilidad microcanónica; operador matriz de probabilidad del ensamble microcanónico. Definición estadística de la entropía: Incremento de la entropía en un gas ideal en expansión; principio de Boltzmann; propiedad extensiva de la entropía; cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica; derivación de la termodinámica estadística. Una aplicación en sólidos cristalinos: Vibraciones de un sólido cristalino; calor específico vibracional del sólido cristalino. Ensamble clásico microcanónico. Gas ideal clásico de partículas libres: Algunas consecuencias del principio de Boltzmann; entropía para el gas ideal de partículas libres; paradoja de Gibbs. Teorema del virial para gases ideales. Ejemplos.

5. Ensamble estadístico canónico de N partículas (3 clases)

Ensamble cuántico canónico de N partículas: Distribución de probabilidad de Gibbs-Boltzmann de N partículas; método de multiplicadores de Lagrange para la distribución de probabilidad de Gibbs-Boltzmann; operador matriz densidad de probabilidad el ensamble canónico. Definición estadística de la energía libre de Helmholtz: Propiedad extensiva de la energía libre de Helmholtz; consistencia con la primera ley de la termodinámica. Entropía de Gibbs de N partículas. Fluctuación de la energía en el ensamble canónico. Equivalencia entre los ensambles microcanónico y canónico para describir sistemas macroscópicos. Formulación de la termodinámica estadística. Aproximaciones de Einstein y Debye en sólidos cristalinos: Aproximación de Einstein; Aproximación de Debye; fluctuación de energía no despreciable a bajas temperaturas. Ensamble clásico canónico: Termodinámica estadística del gas ideal monoatómico. Gases reales: Ecuación de estado para gases reales; Ecuación de Van der Waals. Ejemplos.

PRIMER EXAMEN PARCIAL: Contenidos de Capítulos 2 a 5. Jueves 14 de marzo/2024.

6. Ensamble estadístico canónico de una partícula (2 clases)

Ensamble cuántico canónico de una partícula: Operador matriz densidad de probabilidad de una partícula; entropía de Gibbs promedio por partícula. Sistema de dos estados: Sal paramagnética. Gas ideal de osciladores cuánticos unidimensionales: Energía interna del sistema; Entropía del sistema. Ensamble clásico canónico de una partícula: Condiciones para la validez de la aproximación clásica; validez de las condiciones en dos sistemas físicos; distribución de Gibbs-Boltzmann de una partícula. Ensamble canónico para sistema económico: Distribución de Gibbs-Boltzmann de dinero en el discreto; distribución de Boltzmann de dinero en el continuo; modelo cinético de intercambio de dinero de Dragulescu-Yakovenko. Ejemplos.

7. Indistinguibilidad en el ensamble canónico (3 clases)

Formulación cuántica de un sistema de N partículas idénticas e indistinguibles no interactuantes entre sí y sin grado de libertad interno: Sistema de dos partículas idénticas, indistinguibles e independientes; sistema de tres partículas idénticas, indistinguibles e independientes; Sistema de N partículas idénticas, indistinguibles e independientes. Relación entre Q_N y Q_1 para sistema de partículas independientes distinguibles e

indistinguibles. Aproximación semiclásica al gas ideal de partículas idénticas e indistinguibles. Aproximación semiclásica al gas ideal de partículas idénticas e indistinguibles con interacción gravitacional: Potenciales químicos. Aproximación clásica al gas ideal de partículas idénticas e indistinguibles: Función densidad de probabilidad para un sistema de N partículas libres; función distribución de velocidades de Maxwell; presión para un gas ideal; colisión entre un par de moléculas. Ejemplos.

8. Ensamble estadístico grancanónico (4 clases)

Distribución de probabilidad gran canónica. Método de multiplicadores de Lagrange en el ensamble grancanónico: Relación con el ensamble canónico; relación con el ensamble microcanónico. Observables termodinámicos en el ensamble grancanónico: Operador matriz densidad de probabilidad en el ensamble grancanónico; variación del potencial químico con respecto al número de partículas; variación de la energía interna con respecto a la temperatura. Fluctuaciones en el ensamble grancanónico: Fluctuación del número de partículas; fluctuación de la energía interna. Ensamble grancanónico en la aproximación clásica: Equilibrio entre dos subsistemas; aditividad de las variables termodinámicas; significado físico del potencial químico. Ejemplos.

SEGUNDO EXAMEN PARCIAL: Contenidos de Capítulos 6 a 8. Jueves 25 de abril/2024.

9. Mecánica estadística para fermiones y bosones independientes (3 clases)

Sistema de N partículas idénticas e indistinguibles con grado de libertad interno de espín: Mecánica cuántica de una partícula con grado de libertad interno de espín; el principio de Pauli (o principio de espín-estadística); Mecánica Cuántica de un sistema de N partículas idénticas, indistinguibles e independientes con grado de libertad interno de espín: Mecánica Cuántica de una partícula con grado de libertad interno de espín; principio de Pauli (o principio de espín estadística); Mecánica Cuántica de un sistema de N partículas idénticas, indistinguibles e independientes con grado de libertad interno de espín. Sistema de 2 partículas idénticas, indistinguibles e independientes con espín: Sistema de dos fermiones; funciones de onda de coordenadas de espín para sistema de dos fermiones; funciones de onda completas para sistema de dos fermiones; principio de exclusión de Pauli; funciones de onda completas para sistema de dos bosones; ejemplo de estadísticas para sistema de dos partículas. Función de distribución de Fermi-Dirac. Función de distribución de Bose-Einstein. Función de partición de Bose-Einstein y contribución de vacío. Función de partición de Fermi-Dirac y contribución de vacío. Gas ideal de fermiones y bosones en una caja. Ejemplos.

10. Sistemas de fermiones y bosones independientes (4 clases)

Gas ideal de fotones: Distribución de Planck; función de partición del gas ideal de fotones; radiación de cuerpo negro. Condensación de Bose-Einstein: Cálculo de la temperatura crítica. Efecto Casimir (gas de fotones virtuales). Gas ideal de electrones en un metal. Gas ideal de 3 partículas: Gas ideal de 3 fermiones de espín un medio; gas ideal de 3 bosones escalares. Ejemplos.

11. Introducción a las transiciones de fase y al modelo de Ising (2 clases)

Transiciones de fase; modelo de Ising. Ejemplos.

TERCER EXAMEN PARCIAL: Contenidos de Capítulos 9 y 11. Jueves 30 de mayo/2024.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

1. Greiner, Neise & Stöcker. *Thermodynamics and Statistical Mechanics*. Springer Verlag (1997).
2. F. Reif, *Statistical and Thermal Physics*. McGraw Hill International, Singapore (1985).
3. C. Kittel. *Elementary Statistical Mechanics*. Dover Publications Inc (1986).
4. R.K. Pathria and P. D. Beale, *Statistical Mechanics*, Elsevier (2011).
5. R. Kubo. *Statistical Mechanics*. Elsevier Science Publishers, Holanda. (1993).
6. M. Toda, R. Kubo, N. Saito. *Statistical Physics I*. Springer Verlag (1983).
7. B. G. Levich. *Curso de Física Teórica*. Editorial Reverte (1976).
8. D. F. Lawden. *Principles of Thermodynamics and Statistical Mechanics*. Dover Publications Inc (1987).
9. F. C. Andrews. *Equilibrium Statistical Mechanics*. John Wiley and Sons Inc (1975).
10. A. Garrow, *Statistical Mechanics and Thermodynamics*. Oxford University Press, Inc (1987).
11. G. H. Wannier, *Statistical Physics*, Dover Publications In. New York (1966).
12. C. J. Quimbay, *Notas de Clase de Mecánica Estadística (en proceso de elaboración)*. Universidad Nacional de Colombia (2024)
13. Artículos de enseñanza de la física publicados en *American Journal of Physics* y en *The European Journal of Physics*.

EVALUACIÓN DEL CURSO (FECHAS)

Exámenes parciales	75%
Primer Examen Parcial (jueves 14 de marzo/2024)	25%
Segundo Examen Parcial (jueves 25 de abril/2024)	25%
Tercer Examen Parcial (jueves 30 de mayo/2024)	25%
Asistencia a clases (La no asistencia a una clase = -0,2 en la calificación de asistencia).....	5%
Trabajo semestre (grupos conformados por 4 integrantes)	20%
Entrega de proyecto (viernes 8 de marzo/2024)	5%
Entrega de avance (lunes 8 de abril/2024)	5%
Entrega de trabajo final (lunes 20 de mayo/2024)	10%