

Guía docente de la asignatura

## Física Estadística (2951138)

Fecha de aprobación:

Departamento de Física Aplicada: 19/06/2023

Departamento de Electromagnetismo y Física de la

Materia: 21/06/2023

<b>Grado</b>	Grado en Matemáticas y Física	<b>Rama</b>	Ciencias				
<b>Módulo</b>	Termodinámica y Física Estadística	<b>Materia</b>	Física Estadística				
<b>Curso</b>	3 <sup>o</sup>	<b>Semestre</b>	2 <sup>o</sup>	<b>Créditos</b>	6	<b>Tipo</b>	Obligatoria

### PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Tener cursadas las asignaturas Termodinámica, Métodos Matemáticos de la Física, Mecánica y Ondas y Física Cuántica. Es conveniente un conocimiento previo de Mecánica Analítica.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Grado)

- 1) Postulados fundamentales de la Física Estadística.
- 2) Colectividades de Gibbs.
- 3) Modelos estadísticos y propiedades termodinámicas de gases, sistemas paramagnéticos y radiación.
- 4) Gases de Fermi y Bose.

### COMPETENCIAS ASOCIADAS A MATERIA/ASIGNATURA

#### COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Capacidad de análisis y síntesis
- CG02 - Capacidad de organización y planificación
- CG03 - Comunicación oral y/o escrita
- CG06 - Resolución de problemas
- CG07 - Trabajo en equipo
- CG08 - Razonamiento crítico
- CG10 - Creatividad
- CG13 - Conocimiento de una lengua extranjera

#### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- CE02 - Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.



- CE05 - Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.
- CE07 - Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
- CE09 - Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

Los objetivos de la asignatura son:

- Asimilar las características de los niveles de descripción microscópico y macroscópico.
- Comprender en profundidad los fundamentos de la Física Estadística. Utilizar con soltura los conceptos de probabilidad, colectividad y función de partición.
- Conocer las diferentes colectividades estadísticas y sus conexiones con los potenciales termodinámicos.
- Obtener las propiedades termodinámicas de gases y sólidos a partir de modelos microscópicos sencillos clásicos y cuánticos.
- Aprender técnicas computacionales básicas para el estudio y análisis de sistemas de partículas en equilibrio termodinámico, bien mediante prácticas de laboratorio o mediante la realización de trabajos (seminarios).

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### TEÓRICO

- **Lección 1:** INTRODUCCION, FUNDAMENTOS Y POSTULADOS. Introducción y breves apuntes históricos. Descripción microscópica clásica. Descripción macroscópica y observables. Concepto de colectividad y teorema de Liouville. Formulación cuántica y teorema de Liouville cuántico. Postulados de la física estadística. **Apéndices:** Irreversibilidad: la flecha del tiempo. Sistemas dinámicos y teoría ergódica. Construcción de las colectividades: la física estadística de Boltzmann. Física estadística fuera del equilibrio.
- **Lección 2:** TEORÍA DE COLECTIVIDADES. Colectividad microcanónica y entropía. Colectividad canónica. Función de partición. Estabilidad. Colectividad macrocanónica. **Apéndices:** Efectos cuánticos en el límite clásico.
- **Lección 3:** FLUCTUACIONES, EQUIVALENCIA DE COLECTIVIDADES Y LÍMITE TERMODINÁMICO. Motivación. Fluctuaciones canónicas de la energía. Fluctuaciones macrocanónicas en el número de partículas. Límite termodinámico. **Apéndices:** Fluctuaciones macrocanónicas de la energía.
- **Lección 4:** SISTEMAS IDEALES CLASICOS. Definición. Gas de Boltzmann. Función de partición canónica y termodinámica del gas de Boltzmann. Estructura molecular: grados de libertad rotacionales, vibracionales y electrónicos. **Apéndices:** El rotor rígido en mecánica cuántica.
- **Lección 5:** INTRODUCCIÓN AL GAS IDEAL CUÁNTICO. Introducción. Indistinguibilidad cuántica: bosones y fermiones. Sistemas cuánticos ideales. Ecuación de estado del gas ideal cuántico. Gas ideal cuántico débilmente degenerado.
- **Lección 6:** SISTEMAS FERMIÓNICOS DEGENERADOS. Gas ideal de fermiones degenerado: energía de Fermi. Ecuación de estado a bajas temperaturas. Calor específico. Gas ideal de fermiones degenerado relativistas: modelo de Chandrasekhar de las estrellas enanas blancas. Modelo estadístico del átomo: modelo de Thomas-Fermi. Gas relativista de Fermi completamente degenerado. Gas electrónico en metales. Rango de validez del gas



ideal de fermiones.

- **Lección 7:** SISTEMAS BOSÓNICOS DEGENERADOS. Gas ideal de bosones degenerado. Condensación de Bose-Einstein. Física estadística de un gas de fotones: radiación térmica. Superfluidez del Helio líquido.
- **Lección 9:** SÓLIDOS. Pequeñas oscilaciones. Modos normales. Fonones. Sistemas de osciladores armónicos independientes. Calores específicos. Ley de Dulong y Petit. Modelo de Debye. Modelo de Born-Karman.
- **Lección 10:** MATERIA Y CAMPO MAGNÉTICO. Introducción. Diamagnetismo y paramagnetismo. Teorema de Bohr-van Leeuwen. Paramagnetismo: dipolos en campo magnético. Paramagnetismo: modelo de fermiones de Pauli. Diamagnetismo de Landau. Ferromagnetismo: modelo de Ising en campo medio. Introducción a los fenómenos críticos.
- **Seminarios propuestos:**
  - Introducción a la física estadística de líquidos.
  - La estabilidad de la materia.
  - Superconductividad.
  - Técnicas computacionales de física estadística: dinámica molecular y método Monte Carlo.
  - La ecuación de Boltzmann.
  - Gas de Takahashi.
  - Gas de Kac. Deducción de la ecuación de van der Waals.
  - Magnetismo en metales.
  - Temperaturas negativas.
  - Teoría de Yang y Lee.
  - Modelo de Ising de 1 y 2 dimensiones.
  - Punto crítico, invariancia de escala, exponentes críticos. Universalidad.

Conjuntamente con el temario teórico, se podrá proponer a los alumnos que realicen prácticas o trabajos concretos con una importante componente computacional. En dichos trabajos, los alumnos deberán desarrollar un trabajo de estudio (preferentemente en equipo) de algún sistema de partículas en equilibrio, aplicando las técnicas teóricas aprendidas durante el curso.

## PRÁCTICO

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

#### Libros de teoría

1. PATHRIA, R.K., Statistical Mechanics(2nd edition), Butterworth-Heinemann, Oxford (1996).
2. BALESCU, R., Equilibrium and Non-equilibrium Statistical Mechanics, Wiley & Sons, New York (1975).
3. McQUARRIE, D.A., Statistical Mechanics, Harper & Row, New York (1976).
4. LANDAU L.D. y LIFSHITZ, E.M., Física Estadística, Reverté S.A., Madrid (1975).
5. LE BELLAC, M., MORTESSAGNE, F. y BATROUNI, G.G., Equilibrium and non-equilibrium statistical thermodynamics, Cambridge University Press, Cambridge (2004).
6. BREY ABALO, J.J., DE LA RUBIA PACHECO, J. y DE LA RUBIA SÁNCHEZ, J., Mecánica Estadística, UNED, Madrid (2001).



## Libros de problemas

1. DALVIT, D.A.R., FRASTAI, J. y LAWRIE, I.D., Problems on Statistical Mechanics, Institute of Physics Publishing, Bristol (1999).
2. YUNG-KUO, L., Problems and Solutions on Thermodynamics and Statistical Mechanics, World Scientific Publishing, Singapur (1990).
3. FERNÁNDEZ TEJERO, C. y RODRÍGUEZ PARRONDO, J.M., 100 problemas de Física Estadística, Alianza, Madrid (1996).
4. KUBO, R., Statistical Mechanics: an Advanced Course with Problems and solutions, 2ND edition, North-Holland, Amsterdam (1999).

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA:

1. VINAY AMBEGAOKAR, Reasoning About Luck: probability and its uses in physics, Cambridge University Press (1996).
2. Daniel J. Amit and YOSEF VERBIN, Statistical Physics, World Scientific (1999). ISBN: 981-02-3476-7.
3. P. W. ATKINS, The Second Law, W. H. Freeman (1984).
4. RALPH BAIERLEIN, Thermal Physics, Cambridge University Press, New York (1999). Hardback: ISBN 0-521-59082-5; Paperback: ISBN 0-521-65838-1; Solutions Manual (for instructors): ISBN 0-521-65860-8.
5. RALPH BAIERLEIN, Atoms and Information Theory: An Introduction to Statistical Mechanics, Freeman (1971).
6. David S. Betts and Roy E. Turner, Introductory Statistical Mechanics, Addison-Wesley (1993).
7. R. BOWLEY AND M. SANCHEZ, Introductory Statistical Mechanics, second edition, Oxford University Press (2000). ISBN: 0-19-850576-0.
8. ANATOLY I. BURSHTAIN, Introduction to Thermodynamics and Kinetic Theory of Matter, Wiley (1996).
9. ASHLEY H. CARTER, Classical and Statistical Thermodynamics, Prentice Hall (2001). ISBN: 0-13-779208-5.
10. TEUNIS C. DORLAS, Statistical Mechanics, IOP Publishing (1999). ISBN: 0-7503-0540.
11. J. S. DUGDALE, Entropy and its Physical Meaning, Taylor & Francis (1996).
12. J. B. FENN, Engines, Energy and Entropy, W. H. Freeman (1982).
13. C. B. P. FINN, Thermal Physics, second edition, Chapman & Hall (1993).
14. ROBERT P. H. GASSER AND W. GRAHAM RICHARDS, Statistical Thermodynamics, World Scientific (1995).
15. GARROD, C., Statistical Mechanics and Thermodynamics, Oxford University Press, Nueva York (1995).
16. GREINER, W. NEISE, L. y STÖCKER, H., Thermodynamics and Statistical Mechanics, Springer, Nueva York (1995).
17. T. Guenault, Statistical Physics, second edition, Chapman & Hall (1995).
18. HILL, T.L., An introduction to Statistical Thermodynamics, Addison-Wesley, Massachusetts (1960).
19. HUANG, K., Statistical Mechanics 2nd edition, John Wiley & Sons, 1987, Nueva York.
20. E. ATLEE JACKSON, Equilibrium Statistical Thermodynamics (1968).
21. C. KITTEL AND H. KROEMER, Thermal Physics, second edition, W. H. Freeman (1980).
22. F. MANDL, Statistical Physics, second edition, John Wiley & Sons (1988).
23. THOMAS A. MOORE, Six Ideas That Shaped Physics: Unit T: Some Processes Are Irreversible, WCB/McGraw-Hill Paperback (July 1999). ISBN: 007043056X.
24. G. MORANDI, E ERCOLESSI, AND F NAPOLI, [Statistical Mechanics: An Intermediate](#)



- [Course](#), 2nd Edition, World-Scientific (2001),
25. GEORGE PHILLIES, Elementary Lectures in Statistical Mechanics, Springer-Verlag (2000).
  26. F. REIF, Fundamentals of Statistical and Thermal Physics, McGraw-Hill (1965).
  27. F. REIF, Statistical Physics, (Vol. 5 of Berkeley Physics Course), McGraw-Hill (1967).
  28. W. G. V. ROSSER, An Introduction to Statistical Physics, John Wiley & Sons (1982).
  29. DANIEL V. SCHROEDER, An Introduction to Thermal Physics, Addison-Wesley (2000).
  30. F. W. SEARS AND G. L. SALINGER, Thermodynamics, Kinetic Theory and Statistical Thermodynamics, Addison-Wesley (1975).
  31. M. SPRACKLING, Thermal Physics, AIP (1992). ISBN: 0-88318-919-4
  32. KEITH S. STOWE, Introduction to Statistical Mechanics and Thermodynamics, John Wiley & Sons (1984).
  33. FERNÁNDEZ TEJERO, C., y BAUS, M., Física Estadística del equilibrio. Fases de la materia, Aula documental de investigación. Madrid (2000).
  34. CHANG L. TIEN, Statistical Thermodynamics, Hemisphere Publications (1985).
  35. TODA, M., KUBO, R. y SAITO, N., Statistical Physics I. Equilibrium Statistical Mechanics, 2nd edition, Springer-Verlag, Nueva York (1995).
  36. THOMPSON, C.J., Mathematical Statistical Mechanics, Princeton University Press, New Jersey (1972).

#### ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN (para la preparación de seminarios)

1. J.G. Kirkwood, Quantum Statistics of Almost Classical Assemblies. Phys. Rev. 44, 31 (1933).
2. Elliot H. Lieb, The stability of matter, Rev. of Mod. Phys. 48, 553 (1976).
3. C.N. Yang y T.D. Lee, Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions. I. Theory of Condensation. Phys. Rev. 87, 404 (1952).
4. T.D. Lee and C.N. Yang, Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions. II. Lattice Gas and Ising Model. Phys. Rev. 87, 410 (1952).
5. D.A. Kurtze y M.E. Fisher, Yang-Lee edge singularities at high temperatures. Phys. Rev. B 20, 2785 (1979).
6. T.D. Schultz, D.C. Mattis and E.H. Lieb, Two dimensional Ising Model as a Soluble Problem of Many Fermions. Rev. of Mod. Physics, 856 July (1964).
7. Elliot H. Lieb, Thomas-fermi and related theories of atoms and molecules. Rev. Mod. Physics, 53, 603 (1981); ibid Rev. Mod. Physics, 54311 (1982).
8. R.J. Tayler, Stellar Evolution, Rep. on Progr. in Physics, 31, 167 (1968).
9. H.A. Bethe, Supernova Mechanisms, Rev. of Modern Physics, 62, 801 (1990).
9. Corak et al., Atomic Heats of Cooper, Silver, and Gold from 1K to 5K Phys. Rev. 98, 1699 (1955).
10. P.C. Hohenberg, Existence of Long Range Order in One and Two Dimensions Phys. Rev. 158, 383 (1967).
11. A. Widom, Superfluid Phase Transition in One and Two Dimensions, Phys. Rev. 176, 254 (1968).
12. W.E. Lamb and A. Nordsieck, On the Einstein Condensation Phenomenon. Phys. Rev. 59, 677 (1941).
13. J. Wilks, The Theory of Liquid He, Rep. on Progr. in Physics 20, 38 (1957).

#### ENLACES RECOMENDADOS

<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/>

Física con ordenador. Curso Interactivo de Física en Internet. Página web en castellano donde es posible encontrar un apartado dedicado a la Física Estadística que incluye 10 secciones con sus



respectivos contenidos teóricos. Lo más interesante de esta página, sin embargo, radica en la posibilidad de realizar experimentos virtuales (aplicaciones Java) donde poder comprobar la veracidad de algunas de las leyes de la Física Estadística.

<http://stp.clarku.edu/simulations/>

En esta página (en inglés) hay una colección de 28 aplicaciones Java sobre Física Estadística. Incluye simulaciones Monte Carlo, simulaciones de Dinámica Molecular, y animaciones y cálculos que ilustran un amplio intervalo de principios y fenómenos físicos (movimiento de partículas, equilibrio, distribución de Boltzmann, entropía, fluidos Lennard-Jones, difusión en un sólido, ...)

<https://ocw.mit.edu/courses/#physics>

Lugar donde encontrar cursos de pregrado y de postgrado de Física Estadística. Incluye cursos, notas de clase, problemas resueltos y una lista de los exámenes realizados durante los últimos años con sus soluciones.

## METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 - Lección magistral/expositiva

## EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

### EVALUACIÓN ORDINARIA

CONVOCATORIA ORDINARIA (modalidad evaluación continua)

- Uno o varios exámenes teórico-prácticos, que podrán incluir cuestiones teóricas, demostraciones y resolución de problemas. La ponderación de este bloque es de 70%.
- La parte práctica correspondiente al trabajo autónomo del alumno (resolución y entrega de problemas propuestos, pruebas prácticas, desarrollo de proyectos individuales o en grupo, entrega de informes/memorias o en su caso entrevistas personales con los alumnos, realización y presentación de seminarios, etc) será puntuada con una calificación del 30%.
- Será necesaria una nota mínima de 3.5 puntos sobre 10 en el primer bloque de evaluación (exámenes teórico-prácticos) para promediar nota con la parte práctica.

En ambos casos (grupos A y B) la calificación global corresponderá por tanto a la suma ponderada de la puntuación de los diferentes aspectos y actividades que integran el sistema de evaluación, siempre y cuando se alcance la nota mínima indicada.

Todo lo relativo a la evaluación se registrará por la normativa sobre planificación docente y organización de exámenes vigentes en la Universidad de Granada.

El sistema de calificaciones se expresará mediante calificación numérica de acuerdo con lo establecido en el art. 5 del R. D 1125/2003, de 5 de septiembre, por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en el territorio nacional.

### EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

- Examen teórico-práctico, que podrá incluir cuestiones teóricas, demostraciones y resolución de problemas, con una calificación del 100% (50% correspondiente a la parte de fundamentos, y 50% a la parte de aplicaciones).



En ambos casos (grupos A y B) la calificación global corresponderá por tanto a la suma ponderada de la puntuación de los diferentes aspectos y actividades que integran el sistema de evaluación, siempre y cuando se alcance la nota mínima indicada.

Todo lo relativo a la evaluación se regirá por la normativa sobre planificación docente y organización de exámenes vigentes en la Universidad de Granada.

El sistema de calificaciones se expresará mediante calificación numérica de acuerdo con lo establecido en el art. 5 del R. D 1125/2003, de 5 de septiembre, por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en el territorio nacional.

## EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

### CONVOCATORIA ORDINARIA (modalidad evaluación única)

- Siguiendo el protocolo y dentro del plazo estricto que dictamina la Universidad de Granada para ello, los estudiantes que así lo deseen podrán acogerse al modelo de evaluación única. Dicha evaluación consistirá en un examen teórico-práctico, que podrá incluir cuestiones teóricas, demostraciones y resolución de problemas, con una calificación del 100% (50% correspondiente a la parte de fundamentos, y 50% a la parte de aplicaciones).

En ambos casos (grupos A y B) la calificación global corresponderá por tanto a la suma ponderada de la puntuación de los diferentes aspectos y actividades que integran el sistema de evaluación, siempre y cuando se alcance la nota mínima indicada.

Todo lo relativo a la evaluación se regirá por la normativa sobre planificación docente y organización de exámenes vigentes en la Universidad de Granada.

El sistema de calificaciones se expresará mediante calificación numérica de acuerdo con lo establecido en el art. 5 del R. D 1125/2003, de 5 de septiembre, por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en el territorio nacional.

