

Fecha de aprobación: 28/06/2024

Guía docente de la asignatura

Física de los Sistemas Complejos (26711I2)

Grado	Grado en Física	Rama	Ciencias				
Módulo	Física Computacional y de los Sistemas Complejos	Materia	Física de los Sistemas Complejos				
Curso	4 ^o	Semestre	2 ^o	Créditos	6	Tipo	Optativa

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Son necesarios conocimientos generales de matemáticas y física (particularmente, mecánica) como se adquieren, por ejemplo, en las asignaturas básicas y obligatorias de los primeros cursos del grado en Física. También sería conveniente haber cursado "Física computacional", optativa de tercer curso, así como la Física Estadística de tercero.

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

Introducción. Complejidad. Caos. Geometría fractal. Invariancia de escala. Fenómenos colectivos o cooperativos. Fenómenos críticos. Formación de patrones.

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
- CG04 - Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio
- CG05 - Capacidad de gestión de la información
- CG06 - Resolución de problemas
- CG08 - Razonamiento crítico
- CG09 - Aprendizaje autónomo
- CG10 - Creatividad

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.
- CE08 - Utilizar herramientas informáticas para resolver y modelar problemas y para presentar sus resultados.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

El alumno, llegado a este cuatrimestre, ya conoce las descripciones microscópica y macroscópica de la física como son proporcionadas, respectivamente, por las mecánicas clásica y cuántica así como los conceptos básicos de termodinámica y la física estadística, que relaciona con rigor esas descripciones en el caso de sistemas en equilibrio termodinámico.

Pero el equilibrio termodinámico es una circunstancia especial que no suele darse en los casos que más interesan en la actualidad a la Ciencia, como, por ejemplo cuando se establecen regímenes turbulentos en un fluido, o compuestos químicos agrupados logran el primer indicio de vida independiente, o el sistema nervioso consigue funciones de procesamiento de información de alto nivel mediante la coordinación de grupos de neuronas individuales, o epidemias se propagan en una red de interacciones. Es entonces relevante el concepto de sistema complejo, capaz de mostrar una fascinante fenomenología debida a cooperación entre elementos. El estudio reciente en física de estos sistemas complejos ha llevado al desarrollo de potentes métodos de análisis que descansan en computación y ha generado o renovado conceptos, todo ello trascendiendo las fronteras de la física hasta invadir los fundamentos de otras ciencias, incluyendo biología y sociología.

Es ésta la situación que se propone describir la asignatura, a la vez que pretende ayudar al alumno a:

- 1) Desarrollar sus habilidades para analizar y plasmar mediante algoritmos lo esencial en sistemas y procesos naturales, aprendiendo así a resolver con eficacia y precisión problemas diversos,
- 2) Usar ordenadores de modo creativo en la modelización de situaciones de interés en ciencia, tecnología y gestión, y
- 3) Aceptar, si desea hacerlo, los desafíos que, una vez graduado, le puede plantear la investigación actual en centros públicos o privados.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

1. Introducción. Complejidad. Orden y entropía en la naturaleza. Efectos cooperativos en física estadística. Escalas y niveles de descripción. No-linealidad. Predictabilidad. Medidas de complejidad.
2. Teoría de sistemas dinámicos. Introducción a la teoría de sistemas dinámicos y caos (Poincaré. Lorenz. May. Feigenbaum). Mapas no lineales. Puntos fijos, ciclos límite y atractores extraños. Teoría de estabilidad en ecuaciones diferenciales unidimensionales y bidimensionales. Teoría de bifurcaciones y catástrofes. Coeficientes de Lyapunov. Universalidad. Integrabilidad y caos hamiltoniano.
3. Invariancia de escala. Leyes de potencia. Mecanismos de generación de leyes de potencias. Geometría fractal. Regularidad, aleatoriedad y auto-semejanza. Dimensión Hausdorff o dimensión fractal. (Multifractalidad). Rugosidad y estructuras auto-afines.
4. Teoría de procesos estocásticos. Breve introducción histórica. Movimiento Browniano. Caminante aleatorio. Teoría de Einstein. Experimentos de Perrin. Procesos de Markov. Ecuación



maestra. Ecuaciones estocásticas: Langevin y Fokker Planck. Integrales de camino. Vuelos de Levy.

5. Teoría de cambios de fase (I): Percolación. Invariancia de escala en el punto crítico. Introducción al grupo de renormalización. Percolación dinámica (incendios forestales). Percolación dirigida y el proceso de contacto.
6. Teoría de cambios de fase (II): Curva de Guggenheim y universalidad. Modelos reticulares. Modelo de Ising. Ruptura espontánea de simetría. Parámetro de orden y parámetro de control. Correlaciones y fluctuaciones. Exponentes críticos y leyes de escala. Teoría de campo medio. Teoría de Ginzburg Landau. Criterio de Ginzburg. Bloques de Kadanoff y renormalización en espacio real.
7. Auto-organización y criticalidad. Pilas de arena. Terremotos. Criticalidad en biología.
8. Otros conceptos que se impartirán en semanrios especializados: Introducción a la teoría de redes complejas. Teoría de juegos evolutiva. Aplicaciones: Neurociencia, Ecología teórica y evolutiva, Biología de sistemas, etc.

PRÁCTICO

Se desarrollará un trabajo de investigación tuteada en algunos de los puntos cubiertos por el temario teórico.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- D. Sornette, Critical Phenomena in Natural Sciences, Springer 2009.
- J. Sethna, Entropy, Order parameters and Complexity. Oxford 2015.
- J.J. Binney et al. **The theory of Critical Phenomena. Oxford. 1999.**
- S.H. Strogatz, "Non-linear dynamics and Chaos", Addison Wisley 2012.
- A. Fuchs, "Nonlinear dynamics in complex systems", Springer 2013.
- S. Thurner, R. Hanel, and P. Klimek. **Introduction to the theory of complex systems. Oxford University Press, 2018.**
- K. Christensen and N.R. Moloney, "Complexity and Criticality", Imperial College, London 2005.
- R.J. Creswick et al., "Introduction to Renormalization Group Methods in Physics", Wiley, NY 1992.
- J. Marro and R. Dickman, "Nonequilibrium Phase Transitions in Lattice Systems". Cambridge 2005.
- C.W. Gardiner, "Hanbdblbook of stochastic methods", Springer Verlag, 2000.
- N.G. van Kampen, "Stochastic processes in Physics and Chemistry", Springer, 2004.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- M. Newman, "Networks: An introduction", Oxford 2011.
- A. Pikovsky et al. Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences. Cambridge 2003.
- E. Ott, Chaos and dynamical systems, Cambridge, 2012.
- H. J. Jensen, "Self-Organized Criticality ", Cambridge Univ. Press 1998.
- P. Krapivsky, S. Redner, E. Ben-Naim, "A kinetic view of Statistical Physics", Cambridge 2010.

ENLACES RECOMENDADOS



ergodic.ugr.es/FE
Se proporcionarán en clase-

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 - Lección magistral/expositiva

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

EVALUACIÓN ORDINARIA

El alumno ha de acreditar conocimiento uniforme de toda la materia, como se adquiere participando activamente en clase, de modo que la asistencia continuada y la realización de problemas es parte esencial de la evaluación, y ha de profundizar en uno de los temas característicos de la asignatura, lo que puede conseguir haciendo un trabajo personal tutelado. Hay evaluación a lo largo del curso y, al finalizar éste, mediante las exposiciones orales y/o escritas que se determinen entre alumnos y profesor. Valoración: Trabajo de investigación: 2/3 de la nota final: problemas entregados, ejercicios y trabajo continuado 1/3 de la valoración final. El profesor se reserva el derecho a realizar un examen oral del trabajo de investigación para constatar el dominio del alumno del material presentado. El trabajo personal tutelado puede cambiarse, de acuerdo con el profesor, por un examen final que se valorará del mismo modo.

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

El alumno ha de acreditar conocimiento uniforme de toda la materia. Para acreditar dicho conocimiento el/la alumna se someterá a un examen único final (probablemente oral). Alternativamente, se podrá evaluar, si el alumno así lo desea, mediante los puntos acumulados por evaluación continua durante el curso, más los puntos por trabajo de investigación tutelada. En este caso, la valoración será: Trabajo de investigación: 2/3 de la nota final: problemas entregados, ejercicios y entrega de trabajos 1/3 de la valoración final.

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

Evaluación única y extraordinaria: Para quienes se acojan a la evaluación única final o a la extraordinaria, éstas contendrán las pruebas que el profesor estime oportunas (preferiblemente examen o examen oral) con objeto de acreditar que el estudiante ha adquirido la totalidad de las competencias generales y específicas, pudiendo el alumno alcanzar la calificación máxima.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Consultar con los profesores para más detalles sobre la asignatura. Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): [Gestión de servicios y apoyos \(https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad\)](https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad).

