



## Grado en Física 26919 - Ondas electromagnéticas

Guía docente para el curso 2014 - 2015

Curso: 2, Semestre: 2, Créditos: 6.0

---

### Información básica

---

#### Profesores

- Julio César Amare Tafalla amare@unizar.es

- José Tornos Gimeno jtornos@unizar.es

#### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Se recomienda haber cursado la asignatura de Electromagnetismo.

#### Actividades y fechas clave de la asignatura

Las clases de teoría y de problemas se imparten a lo largo del segundo semestre del segundo curso del Grado de Física.

Las clases prácticas de laboratorio se imparten al final del segundo cuatrimestre.

#### Sesiones de evaluación:

El examen se realizará al finalizar el cuatrimestre, en la fecha asignada por la Facultad de Ciencias. Dicha fecha se hará pública antes de comenzar el curso en el tablón de anuncios de la Facultad y puede consultarse en <http://ciencias.unizar.es/web/horarios.do>

La evaluación continuada de las prácticas experimentales estará basada en el contenido de los informes memoria que deberán presentar los alumnos y su actividad en el laboratorio.

---

### Inicio

---

#### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1: Conocer la naturaleza de las ondas electromagnéticas: espectro, transversalidad, intensidad
- 2: Identificar qué magnitudes describen una onda electromagnética: amplitud, frecuencia, velocidad de propagación, polarización

- 3:** Entender los fenómenos presentes en la propagación de dichas ondas: reflexión, refracción, difracción.
- 4:** Describir el resultado de la superposición de ondas electromagnéticas: interferencias, grupos de ondas, polarización
- 5:** Saber caracterizar la propagación en medios materiales dieléctricos y conductores: dispersión, absorción
- 6:** Comprender los fenómenos presentes cuando en la propagación hay un cambio de medio: ángulo de Brewster, reflexión total
- 7:** Conocer las características de la propagación guiada: modos de propagación, frecuencia de corte, atenuación, dispersión
- 8:** Tener información sobre las características de las antenas y otras fuentes de ondas electromagnéticas

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

Las enseñanzas de esta asignatura están enfocadas hacia la descripción de las propiedades y fenomenología de la radiación electromagnética y el conocimiento de los fenómenos presentes en la propagación bajo diferentes condiciones, describiéndolos con rigor y haciendo uso de un formalismo matemático accesible. Se desarrollan conceptos relacionados con la propagación en el vacío y en medios materiales, la fenomenología de la difracción y las interferencias, la descripción y manejo de la polarización, el guiado de ondas y brevemente de su generación y detección.

Con las prácticas de laboratorio se busca que los estudiantes aprendan a manejar la instrumentación básica asociada, observando los fenómenos estudiados y ejercitándose en la toma de medidas y en la elaboración y presentación de los resultados.

---

## Contexto y competencias

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

#### La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

Se plantea, partiendo de las ecuaciones de Maxwell y la ecuación de propagación vistos en el estudio del Electromagnetismo, describir la fenomenología básica de propagación de la radiación electromagnética en distintos medios y con condiciones de contorno, así como los métodos de caracterización y algunas de las aplicaciones relacionadas.

El objetivo de esta asignatura es proporcionar al alumno un conocimiento de la naturaleza de las ondas electromagnéticas y de los fenómenos asociados a su propagación, así como proporcionar al alumno la información necesaria para que comprenda y sea capaz de describir y cuantificar dichos fenómenos de forma que, posteriormente, pueda seguir aprendiendo de forma autónoma en dicho campo.

En el laboratorio tendrá ocasión de reproducir algunos fenómenos descritos y comprobar algunas leyes enunciadas en las clases de teoría así como aprender algunas técnicas de medida.

#### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

Esta asignatura se enmarca en el grado en Física dentro del módulo de Física Clásica y complementa los conocimientos adquiridos en Electromagnetismo, sirviendo de introducción a la asignatura Óptica y otras relacionadas.

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

- 1:** Avanzar en el estudio del Electromagnetismo y entender los fenómenos asociados a la radiación electromagnética y su propagación
- 2:** Caracterizar la radiación electromagnética
- 3:** Entender el funcionamiento de dispositivos basados en la fenomenología estudiada: reflexión, refracción, interferencias o difracción
- 4:** Caracterizar distintos materiales basándose en su comportamiento frente a la radiación electromagnética incidente
- 5:** Aplicar el uso y caracterización de la luz polarizada a otros campos de estudio
- 6:** Hacer medidas básicas en guías de onda

## **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

Proporciona una base teórico-práctica para otras asignaturas que estudian fenómenos en los que interviene la radiación electromagnética y capacita al alumno para la caracterización elemental de dichos fenómenos y el manejo de aparatos a un nivel básico.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

#### **El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

- 1:** Las prácticas de laboratorio, que son obligatorias, se realizarán en grupos de dos estudiantes. Se evaluará de forma continua el interés y destreza en su realización y se valorará la precisión y exactitud de los resultados que se presentarán en informes breves. La calificación correspondiente, que necesariamente debe alcanzar un nivel de aprobado, supondrá un 20% de la calificación global.
- 2:** Los estudiantes matriculados en la asignatura que no hayan realizado todas las prácticas, o no hayan alcanzado el nivel mínimo, serán convocados a un examen práctico, donde deberán demostrar individualmente sus conocimientos y habilidad.
- 3:** Un 20 % de la calificación final de la asignatura podrá corresponder a la evaluación continua de la colaboración voluntaria de los estudiantes en la resolución en el aula de problemas previamente propuestos. Se valorará tanto la participación activa como la calidad de estas intervenciones.
- 4:** El resto de la evaluación se llevará a cabo mediante un examen escrito, u oral en casos excepcionales, que constará de dos ejercicios, uno de teoría y otro de problemas. El primero consistirá en responder breve y razonadamente a cuestiones sobre conceptos y fenómenos, descripción de ejemplos, pequeñas demostraciones o casos de aplicación práctica de resolución matemática inmediata. En el examen de problemas se plantearán supuestos prácticos del tipo de los resueltos en clase durante el curso. La calificación del examen será el promedio de las obtenidas en estos dos ejercicios, siendo necesario para

aprobar la asignatura que ambas sean mayores o iguales que 3, sobre 10, y que el promedio sea mayor o igual que 5.

## **Superación de la asignatura mediante una prueba global única**

- Los estudiantes realizarán un examen escrito. El resultado obtenido en este examen supondrá el 80% de la calificación global de la asignatura.
- Una vez superado el examen escrito, los estudiantes matriculados en la asignatura que no hayan realizado todas las prácticas, serán convocados a un examen práctico individual para demostrar su habilidad para usar el instrumental y su competencia para medir con la precisión y exactitud debidas.

---

## **Actividades y recursos**

---

### **Presentación metodológica general**

**El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

Las metodologías de enseñanza-aprendizaje que se plantean para conseguir los objetivos planteados y adquirir las competencias son las siguientes:

- Clases de teoría: Desarrollo y discusión progresiva de los contenidos del programa de la asignatura en docencia presencial, con base en los apuntes escritos suministrados por el profesor.
- Clases de problemas: Resolución de casos prácticos en el aula, con participación activa de los estudiantes.
- Sesiones de laboratorio: Explicación en el aula del manejo del equipamiento y de los métodos de medida. Realización experimental de las prácticas de laboratorio, en 3 sesiones y con el apoyo de un guión explicativo complementario, y elaboración por los alumnos en horas de estudio de un informe breve.

### **Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)**

**El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1: Programa de la asignatura ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

#### **1. Ondas electromagnéticas; fundamentos.**

Ecuaciones de Maxwell.

Ondas e.m. en dieléctricos homogéneos, isotrópos y lineales.

Ondas planas y esféricas.

Ondas armónicas. Notación compleja.

Análisis de Fourier.

Ondas cuasimonocromáticas.

Espectro de ondas electromagnéticas.

Transversalidad de las ondas e. m.

Intensidad (irradiancia) de una onda e.m. Vector de Poynting.

Momento lineal transportado por una onda e.m. Presión de radiación.

Ondas e.m. en medios conductores.

Sistema de Gauss: unidades y factores de conversión al S.I.

## **2. Superposición de ondas. Interferencias; difracción; polarización.**

Interferencias. Superposición de ondas de igual frecuencia y polarización.

Franjas de Young.

Luz: ¿Ondas o partículas?

Interferencias con varias rendijas.

Red de difracción.

Difracción.

Difracción de Fraunhofer por una rendija.

Difracción de Fraunhofer por dos rendijas.

Difracción de rayos X por cristales.

Superposición de ondas de frecuencias diferentes; batidos.

Velocidad de grupo.

Superposición de ondas con igual frecuencia y pol. perpendiculares. Polarización elíptica.

Intensidad de la onda resultante.

Álgebra de estados de polarización; formalismo de Jones.

Polarizadores; representación matricial.

Láminas desfasadoras.

## **3. Interacción radiación-materia. Dispersión.**

Radiación de una carga acelerada.

Energía radiada por una carga acelerada.

Radiación de un dipolo oscilante.

Dispersión en medios dieléctricos; modelo de átomo-oscilador; polarizabilidad.

Relación de la polarizabilidad con magnitudes macroscópicas.

Dispersión en medios dieléctricos diluidos.

Dispersión en medios dieléctricos densos.

Difusión Rayleigh. Sección eficaz de difusión.

Polarización de la onda difundida.

Dispersión en medios conductores.

#### **4. Reflexión y refracción de ondas planas.**

Leyes de la reflexión y refracción.

Fórmulas de Fresnel.

Análisis e interpretación de las fórmulas de Fresnel.

Ángulo de Brewster.

Reflexión total.

Coefficientes de reflexión y transmisión.

Factores de reflexión y transmisión.

Refracción en medios absorbentes.

Reflexión en medios absorbentes.

El arco iris

#### **5. Ondas guiadas.**

Guías de ondas; propiedades generales.

Conductores perfectos; condiciones de frontera.

Guía de ondas conductora rectangular.

Modos TEM.

Cavidades resonantes.

Guías dieléctricas. Fibras ópticas.

Atenuación y dispersión en fibras ópticas.

#### **6. Generación de radiación electromagnética.**

Antena de media onda.

Agrupaciones de antenas.

Láser; principios de funcionamiento.

Características de la luz láser.

## **Planificación y calendario**

### **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

La distribución, en función de los créditos, de las distintas actividades programadas es la siguiente:

- Clases teórico-prácticas: 3,5 créditos teóricos y 1,5 créditos de resolución de problemas. Los días, horas y aula serán asignados por la Facultad de Ciencias.
- Prácticas de laboratorio: 1 crédito. Las fechas se fijarán al comienzo del semestre atendiendo al número de matriculados y disponibilidad de laboratorios e instrumentación.
- Exámenes: El examen escrito antes descrito, con una extensión aproximada de 4 horas, se realizará al finalizar el semestre, en la fecha asignada por la Facultad de Ciencias. Para el examen práctico de laboratorio, 1 hora, se convocará con la antelación debida a los alumnos que deban realizarlo.

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Born, Max. Principles of optics : electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light / Max Born and Emil Wolf ; with contributions by A. B. Bhatia ... [et al.] . - 7th (expanded) ed. Cambridge [England] ; New York : Cambridge University Press, 1999
- Cabrera, José Manuel. Óptica electromagnética. Vol. I, Fundamentos / José Manuel Cabrera, Fernando Jesús López, Fernando Agullo López. 2ªed. Madrid [etc.] : Addison Wesley : Universidad Autónoma de Madrid, cop. 1998
- Casas Pelaez, Justiniano. Optica / Justiniano Casas . - 7ª ed. Zaragoza : [El Autor], 1994
- Cheng, David K.. Field and wave electromagnetics / David K. Cheng . - 2nd. ed. Reading (Massachusetts) : Addison-Wesley, 1989
- Hecht, Eugene. Optica / Eugene Hecht ; traducción Raffaello Dal Col, revisión técnica Rosa Weingard Talavera, José Manuel Guerra Pérez . - 3a ed. en español Madrid [etc] : Addison-Wesley, D.L. 1999
- Jackson, John David. Electrodinámica clásica / J. D. Jackson ; Traducción y adaptación 2ª ed. de J. L. Lloret Sebastián . - [2a ed.(española)] Madrid : Alhambra, 1980
- Kraus, John D.. Electromagnetismo con aplicaciones / John D. Kraus, Daniel A. Fleish ; traducción Ana Elizabeth García Hernández ; revisión técnica Javier León Cárdenas . - 1ª ed. en español México [etc.] : McGraw-Hill, cop. 2000
- Lorrain, Paul. Campos y ondas electromagnéticos / Paul Lorrain y Dale R. Corson ; traducido del inglés por José A. Vallés Abarca . - 5a ed. española Madrid : Selecciones Científicas, 1990
- Reitz, John R.. Fundamentos de la teoría electromagnética / John R. Reitz , Frederick J. Milford, Robert W. Christy . - 4a. ed. Wilmington, Delaware : Addison-Wesley Iberoamericana, 1996
- Sadiku, Matthew N. O.. Elements of electromagnetics / Matthew N. O. Sadiku . - 5th ed., international ed. New York : Oxford University Press, 2011
- Wangsness, Roald K.. Campos electromagnéticos / Roald K. Wangsness ; versión española José Ramón Ertze Encinas, revisión Rolando V. Jiménez Domínguez . - 1a ed.,12a.reimp. México[etc] : Limusa, cop.1998