

**FITXA IDENTIFICATIVA****Dades de l'Assignatura**

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| <b>Codi</b>          | 34267                    |
| <b>Nom</b>           | Electrodinàmica clàssica |
| <b>Cicle</b>         | Grau                     |
| <b>Crèdits ECTS</b>  | 4.5                      |
| <b>Curs acadèmic</b> | 2019 - 2020              |

**Titulació/titulacions**

| <b>Titulació</b>      | <b>Centre</b>      | <b>Curs</b> | <b>Període</b>      |
|-----------------------|--------------------|-------------|---------------------|
| 1105 - Grau en Física | Facultat de Física | 4           | Primer quadrimestre |

**Matèries**

| <b>Titulació</b>      | <b>Matèria</b>           | <b>Caràcter</b> |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| 1105 - Grau en Física | 15 - Ampliació de Física | Obligatòria     |

**Coordinació**

| <b>Nom</b>              | <b>Departament</b>                        |
|-------------------------|-------------------------------------------|
| GARRO MARTINEZ, NURIA   | 175 - Física Aplicada i Electromagnetisme |
| GIMENO MARTINEZ, BENITO | 175 - Física Aplicada i Electromagnetisme |

**RESUM**

La Electrodinàmica Clàssica estudia la interacció dels camps electromagnètics amb les càrregues en moviment, així com la radiació de les mateixes, representant una continuació de la matèria de tercer curs Electromagnetisme i de la matèria de segon curs Mecànica. Per a cursar aquesta assignatura és també fonamental l'haver superat totes les assignatures de Matemàtiques. El contingut de la Electrodinàmica és fonamental per a cursar altres assignatures relacionades amb la física de partícules, astrofísica, física atòmica i mecànica quàntica.

L'assignatura té 4,5 crèdits ECTS assignats, i la seva docència està prevista en el primer quadrimestre de quart curs.

L'assignatura comença amb la introducció dels potencials escalar i vector per al cas de variació temporal arbitrària, i les transformacions de contrast o gauge, detallant els contrastos de Coulomb i Lorenz. La solució de les equacions diferencials dels potencials ens permet trobar els potencials retardats i els camps de radiació (equacions de Jefimenko). Finalment estudiarem el desenvolupament multipolar d'una distribució de càrregues i corrents en el cas harmònic, obtenint els termes dipolar elèctric, dipolar magnètic i quadrupolar elèctric.



Seguirem amb l'estudi de les transformacions relativistes dels camps electromagnètics. A la vista d'aquestes transformacions és possible explicar – en certs casos particulars - el magnetisme com un fenomen relativista. Això ha de ser descrit en el si d'una formulació covariante perquè sigui coherent amb la teoria de la relativitat especial. Es formularan les equacions de Maxwell prèvia definició del tensor camp electromagnètic.

A continuació la Electrodinàmica Clàssica estudiarà el moviment de partícules carregades en el si d'un camp electromagnètic. Començarem per la deducció del lagrangiano d'una càrrega relativista en un camp electromagnètic i estudiarem alguns casos de moviment de càrregues en el si de configuracions senzilles de camps elèctrics i magnètics.

Finalment s'estudiarà el fenomen de la radiació electromagnètica de càrregues puntuals. Començant per l'obtenció dels potencials d'una càrrega en moviment (potencials de Liénard-\*Wiechert), s'obtingran les expressions dels camps electromagnètics radiats per una càrrega puntual en moviment arbitrari. Seguidament estudiarem la radiació electromagnètica d'una càrrega que es mou lentament i relativistament, trobant les expressions de la fórmula de Larmor para les dues situacions. Com exemples d'aplicació abordarem l'anàlisi d'un accelerador lineal i d'un accelerador circular (radiació sincrotró).

## CONEIXEMENTS PREVIS

### Relació amb altres assignatures de la mateixa titulació

No heu especificat les restriccions de matrícula amb altres assignatures del pla d'estudis.

### Altres tipus de requisits

Per a cursar aquesta assignatura és convenient que els estudiants hagen cursat prèviament les següents matèries: Física General, Mecànica, Electromagnetisme, Matemàtiques, Mètodes Matemàtics.

## COMPETÈNCIES

### 1105 - Grau en Física

- Posseir i comprendre els fonaments de la física en els aspectes teòrics i experimentals, així com el bagatge matemàtic necessari per a la seua formulació.
- Saber aplicar els coneixements adquirits a l'activitat professional, saber resoldre problemes i elaborar i defensar arguments, recolzant-se en els dits coneixements.
- Desenvolupament d'habilitats d'aprenentatge necessàries per emprendre estudis posteriors amb un elevat grau d'autonomia.
- Resolució de problemes: ser capaç d'avaluar clarament els ordres de magnitud, de desenvolupar una percepció de les situacions que són físicament diferents però que mostren analogies, per permetre, doncs, l'ús de solucions conegudes a problemes nous.



- Modelització i resolució de problemes: ser capaç d'identificar els elements essencials d'un procés/situació i d'establir-ne un model de treball. Ser capaç de realitzar les aproximacions requerides amb l'objecte de reduir un problema fins a un nivell manejable. Pensament crític per construir models físics.
- Cultura general en física: haver-se familiaritzat amb les àrees més importants de la física i amb enfocaments que compreguen i relacionen diferents àrees de la física, així com relacions de la física amb altres ciències.
- Investigació bàsica i aplicada: adquirir una comprensió de la naturalesa de la investigació física, de les formes en què es du a terme, i de com la investigació en física és aplicable a molts camps diferents, per exemple l'enginyeria; habilitat per dissenyar procediments experimentals i/o teòrics per: (i) resoldre els problemes corrents en la investigació acadèmica o industrial; (ii) millorar els resultats existents.
- Cerca de bibliografia: ser capaç de buscar i utilitzar bibliografia en física i altra bibliografia tècnica, així com qualsevol font d'informació rellevant per a treballs d'investigació i desenvolupament tècnic de projectes.
- Destreses generals i específiques de llengües estrangeres: millorar el domini de l'anglès científicotècnic mitjançant la lectura i l'accés a la bibliografia fonamental de la matèria.
- Ser capaç de continuar l'estudi d'altres matèries de la física gràcies al bagatge adquirit en el context d'aquesta matèria.
- Comunicació oral i escrita: ser capaç de transmetre informació, idees, problemes i solucions mitjançant l'argumentació i el raonament propis de l'activitat científica, utilitzant els conceptes i les eines bàsiques de la física.
- Comprensió teòrica de fenòmens físics: tener una buena comprensión de las teorías y modelos más importantes (estructura lógica y matemática, apoyo experimental, fenómenos físicos descritos), en Estructura de la Materia.

## RESULTATS DE L'APRENTATGE

- Manejar esquemes conceptuals bàsics que sorgeixen en la Electrodinàmica, entesa com una assignatura on es combinen les matèries Mecànica i Electromagnetisme dins d'un entorn relativista: contractes de Coulomb i Lorenz, potencials retardats, camps de radiació, desenvolupament multipolar, formulació covariant, tensor camp electromagnètic, moviment d'una partícula en un camp electromagnètic, potencials de Liénard-Wiechert, fórmula de Larmor, radiació sincrotró.
- Entendre el fenomen de la radiació electromagnètica des de dos punts de vista diferents: la radiació de distribucions contínues de càrregues i corrents (antenes), i la radiació de partícules accelerades. Comprendre que ambdues visions responen a la mateixa realitat física.
- Estudiar el magnetisme com un fenomen relativista. Comprendre les transformacions dels camps electromagnètics en el context de la relativitat especial i dominar l'ús de la formulació covariant.



- Estudiar el moviment d'una partícula relativista carregada en un camp electromagnètic amb formulació lagrangiana, analitzant aplicacions pràctiques.
- Estudiar fenòmens associats amb la radiació d'una càrrega accelerada. Resoldre casos particulars d'interès pràctic per al món de la física d'acceleradors, astrofísica, etc.

## DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS

### 1. Radiació electromagnètica de fonts extenses

Aquest primer tema del curs pretén ser un tema de transició entre la matèria Electromagnetisme de tercer curs i la Electrodinàmica Clàssica, i podria estar situat en tercer curs. Començarem per formular les equacions de Maxwell en una regió amb càrregues i corrents, i generalitzarem la definició dels potencials escalar elèctric i vector magnètic al cas de variació temporal arbitrària. Seguidament estudiarem les transformacions de contrast o gauge, detallant els contrastos de Coulomb i Lorenz amb totes les seues propietats. Seguidament resoldrem l'equació diferencial d'ones amb fonts sota el contrast de Lorenz, trobant les expressions dels potencials alentits, la derivació dels quals ens permetrà trobar els camps elèctric i magnètic de radiació (equacions de Jefimenko). Finalment estudiarem el desenvolupament multipolar d'una distribució de càrregues i corrents en el cas harmònic, obtenint els termes dipolar elèctric, dipolar magnètic i cuadripolar elèctric.

### 2. Formulació covariant del camp electromagnètic

Aquest segon tema està orientat a l'estudi de les transformacions relativistes aplicades als camps electromagnètics. Després de recordar les transformacions de Lorentz (i la cinemàtica i dinàmica relativistes), en el marc d'una formulació covariant, introduïrem el tensor camp electromagnètic que ens permet obtenir de forma natural les transformacions dels camps. Es formularan les equacions de Maxwell en notació covariant, juntament amb els potencials escalar i vector, explicant totes les propietats.

### 3. Dinàmica de partícules relativistes en camps electromagnètics

En el tercer tema la Electrodinàmica estudiarà el moviment de partícules carregades en un camp electromagnètic. Començant per la deducció del lagrangia i del hamiltonia d'una càrrega relativista en un camp electromagnètic, estudiarem alguns casos particulars de moviment de càrregues en camps elèctrics i magnètics.

### 4. Radiació electromagnètica emesa per partícules carregades

En l'últim tema s'estudiarà el fenomen de la radiació electromagnètica de càrregues puntuals. Començant per l'obtenció dels potencials d'una càrrega en moviment (potencials de Liénard-Wiechert), s'obtingran les expressions dels camps electromagnètics radiats per una càrrega puntual en moviment arbitrari. Seguidament estudiarem la radiació electromagnètica d'una càrrega que es mou lentament i relativistament, trobant les expressions de la fórmula de Larmor para les dues situacions. Com



exemples d'aplicació abordarem l'anàlisi d'un accelerador lineal i un accelerador circular (radiació sincrotró).

## VOLUM DE TREBALL

| ACTIVITAT                           | Hores         | % Presencial |
|-------------------------------------|---------------|--------------|
| Classes de teoria                   | 45,00         | 100          |
| Elaboració de treballs individuals  | 14,50         | 0            |
| Preparació d'activitats d'avaluació | 8,00          | 0            |
| Preparació de classes de teoria     | 25,00         | 0            |
| Resolució de casos pràctics         | 20,00         | 0            |
| <b>TOTAL</b>                        | <b>112,50</b> |              |

## METODOLOGIA DOCENT

L'assignatura constarà de tres tipus de classes amb metodologia diferenciada:

(a) Classes teòriques (2 hores/setmana): En aquestes classes s'impartiran els continguts teòrics bàsics de l'assignatura, així com exemples pràctics i qüestions que millor els il·lustren. Per a incrementar la relació presentació/assimilació es podran utilitzar eines gràfiques de presentació de continguts, a través de transparències de PowerPoint, incloent gràfiques, dibuixos, vídeos i animacions, en combinació amb discussions/presentacions en pissarra.

(b) Classes pràctiques de pissarra (1 hora/setmana): En aquestes classes s'impartiran les classes de problemes. Per a aquesta part es proporcionarà als estudiants un butlletí complet amb problemes de tots els temes. El professor resoldrà en la pissarra alguns problemes tipus per setmana.

## AVALUACIÓ

El sistema d'avaluació constarà de dues parts:

1. Un examen, de caràcter obligatori, que consistirà en la resolució d'un conjunt de preguntes teòriques, qüestions i problemes. Els estudiants podran dur a l'examen dos fulls (escrits per les dues cares) amb les fórmules que consideren més rellevants (sense demostracions) i que hauran d'adjuntar a l'examen; també poden portar taules d'integrals, operadors diferencials, etc.
2. Avaluació contínua, de caràcter optatiu, que consistirà en el lliurament de 3 o 4 problemes al llarg del curs, proporcionats pel professorat a mesura que s'avança en el temari de l'assignatura.

L'avaluació continua representa el 30% de la nota final, sempre que la nota de l'examen siga, com a mínim, d'un 4 sobre 10.



## REFERÈNCIES

### Bàsiques

- «Classical Electrodynamics», J. D. Jackson, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- «The Classical Theory of Fields», L. D. Landau and E. M. Lifshitz, 4th rev. ed., Elsevier, 2005.
- «Introduction to Electrodynamics», D. J. Griffiths, Ed. Pearson, 3rd ed., 2008.

### Complementàries

- «Problemas de Electrodinámica Clásica», J. I. Íñiguez de la Torre, A. García Flores, J. M. Muñoz Muñoz, C. de Francisco Garrido, Ed. Universidad de Salamanca, 2002.
- «Problemes d'Electrodinàmica Clàssica», E. Bagan, Universitat Autònoma de Barcelona, 1998
- «Classical Electromagnetic Theory», J. Vanderlinde, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- «Electrodynamics of continuous media», L. D. Landau and E. M. Lifshitz, 2nd ed., Elsevier, 1999.
- «Interacción electromagnética. Teoría clásica», J. Costa Quintana, F. López Aguilar, Ed. Reverté, 2007.

## ADDENDA COVID-19

Aquesta addenda només s'activarà si la situació sanitària ho requereix i previ acord del Consell de Govern