

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

Codi	34270
Nom	Relativitat i cosmologia
Cicle	Grau
Crèdits ECTS	4.5
Curs acadèmic	2024 - 2025

Titulació/titulacions

Titulació	Centre	Curs	Període
1105 - Grau en Física	Facultat de Física	4	Segon quadrimestre

Matèries

Titulació	Matèria	Caràcter
1105 - Grau en Física	16 - Complementos de Física	Optativa

Coordinació

Nom	Departament
FONT RODA, JOSE ANTONIO	16 - Astronomia i Astrofísica

RESUM

L'assignatura Relativitat i Cosmologia, optativa quadrimestral de quart curs del Grau de Física amb una assignació de 4.5 crèdits, és una introducció a la teoria de l'espai-temps en presència de gravitació, és a dir a la teoria d'Einstein de la gravitació, també coneguda com teoria de la relativitat general (RG). El llenguatge bàsic d'aquesta teoria és la geometria riemanniana (els espais corbats), així doncs aquesta assignatura serà també una introducció a les nocions bàsiques dels espais corbats. L'estudi de la RG pot continuar-se en el programa del Màster de Física Avançada.

La RG està vigent en diverses disciplines i té aplicació en un rang molt ample d'escala espacial:

- L'enginyeria relacionada amb els sistemes de posicionament global GPS o Galileo necessita tenir en compte correccions relativistes, igual que es necessiten per explicar el avançament del periheli de Mercuri.
- L'evolució d'objectes de gran massa, el col·lapse estel·lar, la formació de forats negres i els processos energètics per ells produïts són tòpics habituals de l'astrofísica relativista en els que la RG és necessària.



- La RG prediu l'existència de les ones gravitatòries. La detecció directa de la primera ones gravitatòria (GW150914), cent anys després que Einstein completés la seua teoria de la RG, és un dels esdeveniments científics més importants dels últims temps. L'Astronomia d'Ones Gravitatòries està obrint una nova finestra a l'Univers, complementària a l'electromagnètica, que proporcionarà una visió de l'Univers nova i fascinant.
- Les lents gravitatories són una conseqüència inevitable de la RG que ha trobat una aplicació important en la detecció de matèria fosca en cosmologia.
- L'expansió accelerada de l'Univers detectada en l'observació de supernoves llunyanes ha posat de manifest una component misteriosa d'energia, desconeguda per el moment (energia fosca), que està estimulant gran quantitat d'estudis i especulacions.
- En altra direcció, l'estudi de la gravitació a escales quàntiques ha esdevingut un altre tòpic teòric important.

CONEXEMENTS 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

Es recomana cursar RiC després d'haver cursat les matèries bàsiques de Física i Matemàtiques.

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.
- Ser capaç de reunir i interpretar dades rellevants per emetre judicis.
- 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.
- Destreses generals i específiques en llengües estrangeres: haver millorat el domini de l'anglès (o d'una altra llengua estrangera d'interès) mitjançant: accés a bibliografia fonamental, comunicació oral i escrita (anglès científicotècnic), cursos, estudis a l'estranger, reconeixement de crèdits en universitats estrangeres etc.
- 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.
- Capacitat d'aprenentatge: ser capaç d'iniciar-se en nous camps de la física i de la ciència i la tecnologia en general, a través de l'estudi independent.
- 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.
- Que els estudiants hagen demostrat posseir i comprendre coneixements en una àrea d'estudi que parteix de la base de l'educació secundària general, i se sol trobar a un nivell que, si bé descansa en llibres de text avançats, inclou també alguns aspectes que impliquen coneixements procedents de l'avantguarda del seu camp d'estudi.
- Que els estudiants sàprien aplicar els seus coneixements al seu treball o vocació d'una forma professional i posseïsquen les competències que solen demostrar-se per mitjà de l'elaboració i defensa d'arguments i la resolució de problemes dins de la seua àrea d'estudi.
- Que els estudiants tinguen la capacitat d'arreglar i interpretar dades rellevants (normalment dins de la seua àrea d'estudi) per emetre judicis que incloguen una reflexió sobre temes rellevants d'índole social, científica o ètica.
- Que els estudiants puguin transmetre informació, idees, problemes i solucions a un públic tant especialitzat com no especialitzat.
- Que els estudiants hagen desenvolupat aquelles habilitats d'aprenentatge necessàries per a emprendre estudis posteriors amb un alt grau d'autonomia.

S'espera aconseguir un nivell fonamental en l'ús de la teoria d'Einstein de la gravitació. A tal fi s'adquirirà un nivell bàsic en els punts més rellevants de la geometria dels espais corbats, i la seua relació amb la física de la gravitació:

- Càlcul tensorial: algebraic i diferencial.
- Les propietats geomètriques i les conseqüències físiques de tres espais mètrics bàsics: Schwarzschild, Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, i ones gravitatories linealitzades, que conduiran a: el fenomen forat negre, els models cosmològics i la generació i anàlisi de la radiació gravitatoria respectivament.
- Les geodèsiques temporals i nul·les i el problema del moviment de les partícules prova i dels raigs de



llum. Famílies de geodèsiques, l'equació de desviació i el corresponent significat físic.

-Tot plegat ha de proporcionar una destresa en la visió geomètrica, que es materialitzarà en l'ús de diagrames espais temporals, en la discussió dels problemes físics.

Altres propis de la titulació:

- Desenrotllar la capacitat de raonament crític i l'aplicació del mètode científic.
- Ser capaç d'identificar problemes, incloent les semblances amb altres la solució de les quals és coneguda, i idear estratègies per a la seua solució.
- Desenrotllar la capacitat de planificar i organitzar el propi aprenentatge, basant-se en el treball individual, a partir de la bibliografia i altres fonts d'informació.
- Avaluar les diferents causes d'un fenomen i la seua importància relativa.
- Identificar els elements essencials d'una situació complexa, realitzar les aproximacions necessàries per a construir models simplificats que ho descriuen i poder així entendre el seu comportament en altres situacions.
- Ser capaç d'efectuar una posada al dia de la informació existent sobre un problema concret, ordenar-la i analitzar-la.
- Fomentar la capacitat per a treballar en equip a l'hora d'abordar problemes complexos que requereixen col·laboració amb altres persones.
- Potenciar l'adquisició de recursos d'expressió oral i escrita per a dur a terme una argumentació científica clara i coherent.
- Estimular la capacitat de comunicació dels conceptes físics involucrats en un problema per mitjà d'expressió oral i escrita.
- Potenciar la comprensió i l'ús de les noves tecnologies de la informació.

DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS

1. Relativitat especial

Introducció. Estructura geomètrica de l'espai-temps (L'espai-temps com a espai afí; Con de llum. Rectes temporals, espacials i isòtropes; Sincronització i interval temporal; Observador inercial. Simultaneïtat. Interval coordinat temporal; Interval espacial; Sistema de referència inercial; Interval entre dos successos; Espai vectorial de Minkowski; 4-velocitat i 4-acceleració; Transformacions de Lorentz). Mecànica d'una partícula en relativitat especial. Tensors en relativitat especial. Moviment de càrregues en un camp electromagnètic. Equacions de Maxwell en el formalisme 4-dimensional. Fluids en relativitat especial (Flux de número; Equació de continuïtat; Flux de 4-moment; Tensor energia-moment; Equació de conservació de l'energia-moment; Fluid perfecte).

2. Espai-temps corbat. Geometria diferencial

El camp gravitatori en relativitat especial. Principi d'equivalència. L'espai euclidià com a varietat diferenciable. Càlcul tensorial en coordenades curvilínies. Varietats diferenciables. L'espai-temps com a varietat diferenciable (Mètrica en relativitat general; Derivada covariant; Divergència i teorema de Gauss; Transport paral·lel; Tensor curvatura; Equació de la desviació de les geodèsiques; Identitats de Bianchi, tensor de Ricci i tensor d'Einstein). Física en un espai-temps corbat (Mecànica d'una partícula; Mecànica de fluids; Electrodinàmica).



3. Equacions d'Einstein

Equacions d'Einstein. Estructura matemàtica de les equacions d'Einstein. Aproximació de camp feble. Equacions d'Einstein linealitzades. Límit newtonià de les equacions. Teorema de Lovelock. Derivació de les equacions d'Einstein a partir d'un principi variacional.

4. Radiació gravitatòria

Ones gravitatòries en el buit. Polarització de les ones. Fonament dels detectors. Emissió de radiació.

5. Solucions amb simetria esfèrica

Mètrica en simetria esfèrica (Coordenades d'un espai-temps amb simetria esfèrica; Espai-temps amb simetria esfèrica i estàtic; Equacions d'Einstein per a un fluid perfecte estàtic; La geometria exterior: mètrica de Schwarzschild; L'estructura interior d'una estrella estàtica). Geodèsiques en la geometria de Schwarzschild (Orbites circulars. Avanç del periheli; Deflexió de la llum). Estructura causal de l'espai-temps de Schwarzschild (Cons de llum; Observador en caiguda lliure; Coordenades entrants d'Eddington-Finkelstein; Coordenades sortints d'Eddington-Finkelstein; Coordenades de Kruskal-Szekeres i l'extensió maximal de Schwarzschild).

6. Cosmologia

Homogeneïtat i isotropia. Les equacions de Friedmann (Tensor de Ricci i símbols de Christoffel; Els termes de matèria cosmològics; Les equacions d'Einstein en cosmologia). El corriment al roig cosmològic. Models cosmològics (Consideracions generals; Solucions importants de les equacions de Friedmann: (1) Models plans i dominats per la matèria; (2) Models dominats per la matèria i sense constant cosmològica; (3) L'univers estàtic d'Einstein; (4) L'univers de de Sitter; (5) Models dominats per la radiació i sense constant cosmològica).

VOLUM DE TREBALL

ACTIVITAT	Hores	% Presencial
Classes de teoria	45,00	100
	0,00	100
Lectures de material complementari	22,50	0
Preparació de classes de teoria	22,50	0
Preparació de classes pràctiques i de problemes	22,50	0
TOTAL	112,50	



METODOLOGIA DOCENT

La metodologia docent de l'assignatura estarà basada en classes teòrico-pràctiques de pissarra on s'impartiran els continguts teòrics bàsics de l'assignatura, així com exemples pràctics de problemes i exercicis que millor els il·lustren. En combinació amb discussions i deduccions en la pissarra es podran utilitzar eines gràfiques que incloguen imatges, vídeos o presentacions que permeten il·lustrar alguns dels conceptes explicats. Els apunts de l'assignatura, elaborats pel professor, es posaran a la disposició dels estudiants a l'aula Virtual des del principi del curs. Encara que la major part dels aspectes del programa s'abordaran directament durant les classes, alguns aspectes puntuals o monogràfics del temari podrien ser indicats per al seu estudi sense que es tractaren directament. Es fomentarà i guiarà a l'alumne en l'ampliació de continguts a través de la bibliografia recomanada i articles de recerca de tipus revisió.

AVALUACIÓ

Els sistemes d'avaluació són els següents:

- 1) **Exàmens escrits** (80%): una part avaluarà la comprensió dels aspectes teòric-conceptuals i el formalisme de l'assignatura, tant mitjançant preguntes teòriques com a través de qüestions conceptuals i numèriques o casos particulars senzills. Altra part valorarà la capacitat d'aplicació del formalisme, mitjançant la resolució de problemes, així com la capacitat crítica respecte als resultats obtinguts. En ambdues parts es valoraran una correcta argumentació i una adequada justificació.
- 2) **Avaluació contínua** (20%): valoració de treballs i problemes presentats pels estudiants, qüestions proposades i discutides en l'aula, presentació oral de problemes resolts o qualsevol altre mètode que suppose una interacció entre docents i estudiants.

REFERÈNCIES

Bàsiques

- «A first course in general relativity», Bernard Schutz, Cambridge University Press, 2009.
- «Spacetime and Geometry», Sean M. Carroll, Addison Wesley, 2003.
- «A student's manual for a first course in general relativity», Robert B. Scott, Cambridge University Press, 2016.

Complementàries

- «Gravity. An introduction to Einstein's general relativity», J.B. Hartle, Addison Wesley, 2003.
- «General relativity an introduction to physicists», Hobson, M.P., Efstathiou G.P., Lasenby, A.N., Cambridge University Press, 2006.



- «Gravitation», C.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler, Princeton University Press, 2017.
- «Relativity and Cosmology», Wolfgang Rindler, Oxford University Press, 2005.

ESBORRANY