

**FITXA IDENTIFICATIVA****DADES DE L'ASSIGNATURA****Codi:** 34270**Nom:** Relativitat i cosmologia**Cicle:** Grau**Crèdits ECTS:** 4,5**Curs acadèmic:** 2025-26**TITULACIONS**

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

MATÈRIES

Titulació	Matèria	Caràcter
1105 - Grau en Física	Complements de Física	OPTATIVA

COORDINACIÓ

FONT RODA JOSE ANTONIO

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 continuarse en el programa del Màster de Física Avançada.

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

- L'enginyeria relacionada amb els sistemes de posicionament global GPS o Galileo necessita tindre en compte correccions relativistes, igual que es necessitaren per explicar el avançament del periheli de Mercuri.
- L'evolució d'objectes de gran massa, el col.lapse estelar, 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.

CONEXIMENTS PREVIS

RELACIÓ AMB ALTRES ASSIGNATURES DE LA MATEIXA TITULACIÓ

No s'ha especificat 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".

COMPETÈNCIES / RESULTATS D'APRENTATGE

1105 - Grau en Física

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 hagen desenvolupat aquelles habilitats d'aprenentatge necessàries per a emprendre estudis posteriors amb un alt grau d'autonomia.

Que els estudiants puguen transmetre informació, idees, problemes i solucions a un públic tant especialitzat com no especialitzat.

Que els estudiants sàpien 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'arreplegar 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.

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.

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.

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 isòtrops; 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 (HORES)

ACTIVITATS PRESENCIALS

Activitat	Hores
Teoria	45,00
Total hores	45,00

ACTIVITATS NO PRESENCIALS

Activitat	Hores
Assistència a altres activitats	0,00
Elaboració de treballs individuals o en grup	0,00
Estudi i treball autònom	22,50
Preparació de classes	45,00
Preparació d'activitats d'avaluació	0,00
Resolució de casos pràctics	0,00
Total hores	67,50

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 de l'alumnat 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'alumnat 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.

Aquests criteris d'avaluació són comuns a la primera i segona convocatòries.

BIBLIOGRAFIA

- «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.
- «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.