

Òptica Quàntica

Codi: 100180
Crèdits: 6

2024/2025

Titulació	Tipus	Curs
2500097 Física	OT	4

Professor/a de contacte

Nom: Veronica Ahufinger Breto

Correu electrònic: veronica.ahufinger@uab.cat

Idiomes dels grups

Podeu consultar aquesta informació al [final](#) del document.

Prerequisits

No hi ha prerequisits. No obstant es recomana haver cursat Física Quàntica I i II

Objectius

L'objectiu d'aquesta assignatura és proporcionar a l'alumnat els conceptes fonamentals del camp de l'Òptica Quàntica. En concret, estudiarem en detall els fenòmens d'interacció llum-matèria a nivell microscòpic utilitzant la teoria semiclàssica i quàntica. Aquest coneixement és la base de camps de recerca molt actius com la física dels làsers, el control coherent d'ones de matèria, el refredament i la captura d'àtoms, les memòries quàntiques o la informació quàntica. Al llarg del curs es proporcionaran les connexions amb aquests camps i es realitzaran discussions de resultats de recerca recents.

Competències

- Actuar en l'àmbit de coneixement propi valorant l'impacte social, econòmic i mediambiental.
- Aplicar els principis fonamentals a l'estudi qualitatiu i quantitatiu de les diferents àrees particulars de la física
- Comunicar eficaçment informació complexa de manera clara i concisa, ja sigui oralment, per escrit o mitjançant TIC, i en presència de públic, tant a públics especialitzats com generals
- Conèixer les bases d'alguns temes avançats incloent desenvolupaments actuals en la frontera de la física sobre els quals poder-se formar posteriorment amb més profunditat
- Fer treballs acadèmics de manera independent usant bibliografia (especialment en anglès), bases de dades i col·laborant amb altres professionals
- Formular i abordar problemes físics identificant els principis més rellevants i utilitzant aproximacions, si fos necessari, per arribar a una solució que ha de ser presentada explicitant hipòtesis i aproximacions
- Introduir canvis en els mètodes i els processos de l'àmbit de coneixement per donar respostes innovadores a les necessitats i demandes de la societat.
- Planejar i realitzar, utilitzant els mètodes apropiats, un estudi o recerca teòrica i interpretar i presentar-ne els resultats
- Raonar críticament, tenir capacitat analítica, fer servir correctament el llenguatge tècnic i elaborar arguments lògics

- Treballar autònomament, tenir iniciativa pròpia, ser capaç d'organitzar-se per assolir uns resultats i planejar i executar un projecte
- Treballar en grup, assumint responsabilitats compartides e interaccionant professional i constructivament amb altres amb absolut respecte als seus drets.
- Utilitzar les matemàtiques per descriure el món físic, seleccionant les eines apropiades, construint models adequats, interpretant resultats i comparant críticament amb l'experimentació i l'observació

Resultats d'aprenentatge

1. Analitzar la física dels sistemes atòmics de dos i tres nivells interaccionant amb un o dos camps làser, respectivament.
2. Calcular els estats vestits d'un sistema de dos nivells en interacció amb un camp electromagnètic quàntic.
3. Calcular la dinàmica de la interacció d'un sistema de dos nivells en interacció amb un únic mode del camp electromagnètic.
4. Calcular, en l'aproximació dipolar elèctrica i de l'ona rotant, la dinàmica de sistemes de dos i tres nivells en interacció amb un camp clàssic o quàntic.
5. Comunicar eficaçment informació complexa de manera clara i concisa, ja sigui oralment, per escrit o mitjançant TIC, i en presència de públic, tant a públics especialitzats com generals.
6. Deducir la força dipolar de la llum i descriure la pressió de radiació.
7. Descriure el concepte de coherència espacial i temporal de la llum.
8. Descriure el fenomen de l'emissió espontània.
9. Descriure l'experiment de Hanbury-Brown i Twiss.
10. Descriure les tècniques de control de la propagació de la llum i les seves aplicacions en memòries quàntiques.
11. Descriure les tècniques de manipulació dels estats interns i externs dels àtoms utilitzant interacció llum-matèria i les seves aplicacions a l'enginyeria quàntica.
12. Elaborar un treball que relacioni els conceptes d'òptica quàntica estudiats amb temes frontera actuals i presentar-ne els resultats.
13. Fer treballs acadèmics de manera independent usant bibliografia (especialment en anglès), bases de dades i col·laborant amb altres professionals.
14. Formular les propietats dels diferents estats quàntics del camp electromagnètic.
15. Identificar les implicacions socials, econòmiques i mediambientals de les activitats academicoprofessionals de l'àmbit de coneixement propi.
16. Identificar situacions que necessiten un canvi o millora.
17. Modelitzar l'electrodinàmica quàntica en cavitats.
18. Plantejar i resoldre les equacions d'evolució coherent d'un sistema de dos nivells atòmic en interacció amb un camp làser utilitzant l'equació de Schrödinger.
19. Raonar críticament, tenir capacitat analítica, usar correctament el llenguatge tècnic i elaborar arguments lògics.
20. Resoldre problemes d'interacció llum-matèria en teoria semiclàssica utilitzant la tècnica de la matriu densitat.
21. Treballar autònomament, tenir iniciativa pròpia, ser capaç d'organitzar-se per assolir uns resultats i planejar i executar un projecte.
22. Treballar en grup, assumir responsabilitats compartides i interaccionar professionalment i de manera constructiva amb altres persones amb un respecte absolut als seus drets.
23. Utilitzar les variables normals per descriure el camp electromagnètic i la seva quantització.

Continguts

1. Introducció

Introducció a la teoria clàssica, semiclàssica i quàntica de la interacció llum-matèria. Estructura atòmica.

2. Teoria semiclàssica de la interacció llum-matèria

Procesos bàsics d'interacció llum-matèria. Equacions de balanç. Equació de Schrödinger. Àtom de dos nivells sota l'aproximació de l'ona rotant. El desdoblament AC-Stark. Les oscil·lacions de Rabi. El triplet de Mollow. El doblet d'Autler-Townes. La força dipolar. El formalisme de la matriu densitat per a un àtom de dos nivells. Les equacions de Bloch òptiques. Els estats vestits. Passatge ràpid adiabàtic. El formalisme de la matriu densitat per a un àtom de tres nivells. Captura coherent de la població. Transparència induïda electromagnèticament. Passatge adiabàtic de població via estimulació Raman.

3. Teoria quàntica de la interacció llum-matèria

3. 1. Descripció de la llum

Electrodinàmica clàssica. Quantització del camp e.m. Estats quàntics del camp e.m. lliure. Estats de Fock. Estats del buit de fotons. Estats coherents. Estats comprimits. Detecció homodina. Coherència òptica i experiment de Hanbury-Brown i Twiss. Funció de Wigner i altres representacions dels estats quàntics de la llum.

3. 2. Interacció llum-matèria

Model de Jaynes-Cummings. L'àtom vestit. Oscil·lacions de Rabi quàntiques. Col·lapses i ressorgiments. Electrodinàmica quàntica en cavitats. Tractament de Weisskopf-Wigner de l'emissió espontània.

Activitats formatives i Metodologia

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Tipus: Dirigides			
Classes problemes	16	0,64	1, 2, 3, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 14, 17, 18, 20, 23, 4
Classes teòriques	33	1,32	1, 2, 3, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 14, 17, 18, 20, 23, 4
Tipus: Supervisades			
Activitats per entregar	1,5	0,06	5, 19, 21, 13
Presentació oral	1,5	0,06	12, 5, 19, 21, 22, 13
Tipus: Autònomes			
Preparació i estudi dels fonaments teòrics	46	1,84	1, 12, 5, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 14, 17, 19, 23, 21, 22, 13
Resolució de problemes	46	1,84	2, 3, 12, 5, 18, 20, 19, 4, 21, 22, 13

A les classes de teoria es discutiran els continguts de l'assignatura sempre incentivant la participació de l'alumnat plantejant preguntes.

A les classes de problemes es pretén que l'alumnat participi de manera activa ja sigui plantejant dubtes o participant en la resolució d'exercicis i qüestions a l'aula.

El treball autònom de l'alumnat requerit en aquesta assignatura inclou tant l'estudi dels conceptes teòrics com la preparació i resolució d'exercicis.

L'assignatura també presenta activitats supervisades que consisteixen en l'entrega d'activitats i una presentació oral.

La presentació oral, que es realitzarà en grup, consistirà en la preparació i presentació oral d'un tema actual de l'òptica quàntica.

El material, tant per a les classes de teoria com per a les classes de problemes, serà subministrat a través del campus virtual de l'assignatura.

Nota: es reservaran 15 minuts d'una classe, dins del calendari establert pel centre/titulació, per a la complementació per part de l'alumnat de les enquestes d'avaluació de l'actuació del professorat i d'avaluació de l'assignatura/mòdul.

Avaluació

Activitats d'avaluació continuada

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Examen recuperació primer parcial	35%	0	0	1, 2, 3, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 14, 17, 18, 20, 23, 4
Examen recuperació segon parcial	35%	0	0	1, 2, 3, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 14, 17, 18, 20, 23, 4
Lliurament d'activitats	15%	0	0	12, 5, 19, 21, 13
Presentació oral	15%	0	0	5, 16, 15, 19, 21, 22, 13
Primer examen parcial	35%	3	0,12	1, 3, 6, 9, 7, 8, 11, 10, 18, 20, 4
Segon examen parcial	35%	3	0,12	2, 8, 14, 17, 23, 4

Avaluació continuada

La nota final de l'assignatura s'obtindrà a partir de les següents proporcions:

- 35% : Nota del primer Parcial.
- 35% : Nota del segon Parcial.
- 15% : Nota de les activitats a entregar.
- 15% : Nota de la presentació oral.

Per tal d'aplicar aquests percentatges cal que la nota (sobre 10) de cada un dels parcials sigui igual o superior a 3.5. En el cas que en algun o els dos parcials la nota sigui inferior a 3.5, l'estudiant haurà de presentar-se a la recuperació de la part que tingui suspesa amb nota inferior a 3.5. Si algun/a estudiant, tot i tenir l'assignatura aprovada, vol millorar la nota pot presentar-se a la recuperació de la part que vulgui i la nota que s'utilitzarà per a aplicar els percentatges serà l'obtinguda a la recuperació. La nota serà de "no avaluable" quan l'estudiant no es presenti a cap examen o bé es presenti a només un dels dos exàmens parcials i no es presenti a la recuperació.

Avaluació única

L'alumnat que s'hagi acollit a la modalitat d'avaluació única haurà de realitzar una prova final que consistirà en un examen dels continguts del primer parcial. Seguidament haurà de fer un examen dels continguts del segon parcial. En ambdós casos haurà de resoldre una sèrie d'exercicis semblants als que s'han treballat a les sessions de problemes així com qüestions més teòriques. Aquestes proves es duran a terme al mateix dia, hora i lloc que les proves del segon parcial de la modalitat d'avaluació continuada.

La qualificació de l'estudiant serà la mitjana ponderada de les dues activitats anteriors, on cada examen suposarà el 42.5% de la nota, i de la nota de la presentació oral, que haurà realitzat durant el curs en el dia establert per a tot l'alumnat, i que representa el 15% de la nota.

Si la nota de cada una de les proves finals no arriba al 3.5 (sobre 10) o si la nota final de l'assignatura no arriba a 5 (sobre 10), l'estudiant té una altra oportunitat de superar l'assignatura mitjançant l'examen de recuperació que se celebrarà el mateix dia, hora i lloc que l'examen de recuperació de la modalitat d'avaluació continuada. En aquesta prova es podrà recuperar el 85% de la nota, corresponent a les proves finals. La nota de la presentació oral no és recuperable.

Bibliografia

- Daniel A. Steck, *Quantum and Atom Optics* (2007); Oregon Center for Optics and Department of Physics. Oregon University

<http://atomoptics.uoregon.edu/~dsteck/teaching/quantum-optics/quantum-optics-notes.pdf>

- P. Meystre and M. Sargent, *Elements of Quantum Optics*, Springer-Verlag, 4th edition, 2007.

- M. O. Scully and M.S. Zubairy, *Quantum Optics*, Cambridge U. P., 1997.

- D. F. Walls and G.J. Milburn, *Quantum Optics*, Springer-Verlag, 2nd edition, 2008.

- C. C. Gerry and P. Knight, *Introductory Quantum Optics*, Cambridge University Press, 2005.

- C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc and G. Grynberg, *Atom-Photon Interactions: Basic processes and applications*. John Wiley & Sons, 1998.

- C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc and G. Grynberg, *Photons and Atoms: Introduction to Quantum Electrodynamics*. John Wiley & Sons, 1997.

- H. J. Metcalf and P. van der Straten, *Laser Cooling and Trapping*, Springer-Verlag, 1999.

- S. Haroche and J.M. Raimond. *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities and Photons*. Oxford University Press, 2006.

- J. M. Raimond, M.Brune and S. Haroche, *Reviews of Modern Physics* 73, 565 (2001).

Programari

No es requereix cap programari específic.

Llista d'idiomes

Nom	Grup	Idioma	Semestre	Torn
(PAUL) Pràctiques d'aula	1	Anglès	primer quadrimestre	matí-mixt
(TE) Teoria	1	Anglès	primer quadrimestre	matí-mixt