

## Òptica Quàntica

Codi: 100180

Crèdits: 6

Titulació	Típus	Curs	Semestre
2500097 Física	OT	4	0

### Professor/a de contacte

Nom: Verónica Ahufinger Breto

Correu electrònic: Veronica.Ahufinger@uab.cat

### Utilització d'idiomes a l'assignatura

Llengua vehicular majoritària: anglès (eng)

Grup íntegre en anglès: Sí

Grup íntegre en català: No

Grup íntegre en espanyol: No

### Equip docent

Jordi Mompart Penina

### 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'estudiant 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

- 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
- Desenvolupar estratègies d'aprenentatge autònom
- Desenvolupar un pensament i un raonament crítics i saber comunicar-los de manera efectiva tant en les llengües pròpies com en una tercera llengua
- 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
- Generar propostes innovadores i competitives en la recerca i en l'activitat professional.

- 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
- Respectar la diversitat i pluralitat d'idees, persones i situacions
- 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. Desenvolupar estratègies d'aprenentatge autònom.
13. Desenvolupar un pensament i un raonament crítics i saber comunicar-los de manera efectiva, tant en les llengües pròpies com en una tercera llengua.
14. Elaborar un treball que relacioni els conceptes d'òptica quàntica estudiats amb temes frontera actuals i presentar-ne els resultats.
15. Fer treballs acadèmics de manera independent usant bibliografia (especialment en anglès), bases de dades i col·laborant amb altres professionals.
16. Formular les propietats dels diferents estats quàntics del camp electromagnètic.
17. Generar propostes innovadores i competitives en la recerca i en l'activitat professional.
18. Modelitzar l'electrodinàmica quàntica en cavitats.
19. 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.
20. Raonar críticament, tenir capacitat analítica, usar correctament el llenguatge tècnic i elaborar arguments lògics.
21. Resoldre problemes d'interacció llum-matèria en teoria semiclàssica utilitzant la tècnica de la matriu densitat.
22. Respectar la diversitat i la pluralitat d'idees, persones i situacions.
23. Treballar autònomament, tenir iniciativa pròpia, ser capaç d'organitzar-se per assolir uns resultats i planejar i executar un projecte.
24. Treballar en grup, assumir responsabilitats compartides i interaccionar professionalment i de manera constructiva amb altres persones amb un respecte absolut als seus drets.
25. 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. Regles de selecció. 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: àtoms de dos i 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. Coherència òptica i experiment de Hanbury-Brown i Twiss. Funció de Wigner. Divisors de feix i interferòmetres.

### 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.

## Metodologia

L'assignatura té assignats 1.8 ECTS d'activitats dirigides presencials a l'aula: 1.2 ECTS de classes teòriques i 0.6 ECTS de classes de problemes.

Les classes de teoria seran classes magistrals on es discutiran els continguts de l'assignatura sempre incentivant la participació de l'estudiant plantejant preguntes.

En les classes de problemes es pretén que l'alumne 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'estudiant 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.

## Activitats formatives

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
<b>Tipus: Dirigides</b>			
Classes problemes	15	0,6	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 19, 21, 25
Classes teòriques	30	1,2	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 19, 21, 25
<b>Tipus: Supervisades</b>			

Activitats per entregar	1,5	0,06	5, 12, 13, 15, 17, 20, 22, 23
Presentació oral	1,5	0,06	5, 12, 13, 14, 15, 17, 20, 22, 23, 24
<b>Tipus: Autònomes</b>			
Preparació i estudi dels fonaments teòrics	49	1,96	1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 25
Resolució de problemes	47	1,88	2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24

## Avaluació

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'alumne haurà de presentar-se a la repesca de la part que tingui suspesa amb nota inferior a 3,5. Si algun alumne tot i tenir l'assignatura aprovada vol millorar la nota, pot presentar-se a la repesca de la part que vulgui i la nota final es calcularà amb els percentatges anteriors considerant per la nota dels exàmens escrits la nota obtinguda a la repesca. Es considerarà "no avaluable" quan l'alumne no es presenti a cap examen o bé es presenti només a un dels dos exàmens parcials. Per tal de poder presentar-se a l'examen de recuperació, l'alumne haurà d'haver-se presentat als dos exàmens parcials.

## Activitats d'avaluació

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Examen recuperació primer parcial	35%	0	0	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 19, 21, 25
Examen recuperació segon parcial	35%	0	0	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 19, 21, 25
Lliurament d'activitats	15%	0	0	5, 12, 13, 14, 15, 17, 20, 22, 23
Presentació oral	15%	0	0	5, 12, 13, 15, 17, 20, 22, 23, 24
Primer examen parcial	35%	3	0,12	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 19, 21
Segon examen parcial	35%	3	0,12	2, 4, 8, 16, 18, 25

## Bibliografia

- **A la web:**

Daniel A. Steck, *Quantum and Atom Optics* (2007)

• **Bibliografia bàsica**

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.

• **Bibliografia avançada**

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).