

## Òptica Quàntica

Codi: 100180  
Crèdits: 6

| Titulació      | Tipus | Curs | Semestre |
|----------------|-------|------|----------|
| 2500097 Física | OT    | 4    | 1        |

### 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

### 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

- 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. Deduir 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. Coherència òptica i experiment de Hanbury-Brown i Twiss. Funció de Wigner.

#### 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

En les classes de teoria 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.

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.

## Activitats formatives

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

|                                            |    |      |                                                          |
|--------------------------------------------|----|------|----------------------------------------------------------|
| Preparació i estudi dels fonaments teòrics | 46 | 1,84 | 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 21, 22, 23 |
| Resolució de problemes                     | 46 | 1,84 | 2, 3, 4, 5, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22                   |

## Avaluació

La nota final de l'assignatura s'obindrà 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 recuperació 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 recuperació 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 recuperació. Es considerarà "no avaluable" quan l'alumne no es presenti a cap examen o bé es presenti només a un dels dos exàmens parcials i no es presenti a la recuperació.

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

## Bibliografia

- A la web:

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>

- 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).

## **Programari**

No es requereix cap programari específic.