

Informació quàntica

2012/2013

Codi: 100182

Crèdits ECTS: 6

Titulació	Pla	Tipus	Curs	Semestre
2500097 Graduat en Física	776 Graduat en Física	OT	4	1

Professor de contacte

Nom: Emili Bagán Capella

Correu electrònic: Emili.Bagan@uab.cat

Utilització d'idiomes

Llengua vehicular majoritària: català (cat)

Algun grup íntegre en anglès: No

Algun grup íntegre en català: Sí

Algun grup íntegre en espanyol: No

Prerequisits

És recomenable tenir un bon domini d'àlgebra, especialment espais vectorials i, preferiblement, espais Euclidis complexos. Es recomana, però no és imprescindible, tenir nocions de mecànica quàntica.

Objectius

L'assignatura és una introducció a la visió actual de la mecànica quàntica i els seus paradigmes. Amb la tecnologia de què avui dia disposem, molts dels efectes quàntics més paradoxals han deixat ja de ser una curiositat acadèmica i han esdevingut recursos potentíssims que seran la base de nombroses i sorprenents aplicacions pràctiques en un futur no massa llunyà. En aquest curs se'n presenten algunes: teleportació, codificació densa, criptografia i computació quàntiques, etcètera. El curs està dirigit a físics, matemàtics, informàtics i enginyers, la qual cosa fa necessària una introducció als fonaments de la mecànica quàntica, a la teoria clàssica de la informació, a la criptografia i a la computació clàssiques, per després poder valorar les noves aportacions de les versions quàntiques corresponents. L'assignatura té també una vessant aplicada íntimament lligada a l'òptica quàntica. Caldrà doncs fer una introducció a la teoria semiclàssica i quàntica de la interacció llum-matèria. L'objectiu de l'assignatura no és només donar una descripció dels avenços que s'han produït en informació quàntica, sinó també proporcionar al estudiant les eines bàsiques per a poder continuar la seva formació de post grau en aquest camp, si aquest és el seu interès.

Competències

- Aplicar els principis fonamentals a àrees particulars, com la física nuclear i de partícules, la física de la matèria condensada, l'estructura atòmica, la biofísica o la fotònica
- 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 seleccionats de caràcter avançat, incloent-hi els desenvolupaments actuals a la frontera de la física, sobre els quals poder formar-se àgilment 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, tant si són oberts com si estan més ben definits, identificar-ne els principis més rellevants i usar-hi aproximacions, si escau, per arribar a una solució que s'ha de presentar explicitant-ne les suposicions i les aproximacions.
- Planejar, realitzar i presentar els resultats d'un estudi o recerca teòrics usant els mètodes apropiats i aportant propostes innovadores i competitives.

- Raonar críticament, tenir capacitat analítica, usar 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, assumir responsabilitats compartides i interaccionar professionalment i de manera constructiva amb altres persones amb un respecte absolut als seus drets.
- Usar les matemàtiques per descriure el món físic, seleccionar les equacions apropiades, construir models adequats, interpretar resultats matemàtics i comparar críticament amb experimentació i observació.

Resultats d'aprenentatge

1. Aplicar els principis fonamentals a àrees particulars, com la física nuclear i de partícules, la física de la matèria condensada, l'estructura atòmica, la biofísica o la fotònica.
2. 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.
3. Conèixer les bases d'alguns temes seleccionats de caràcter avançat, incloent-hi els desenvolupaments actuals a la frontera de la física, sobre els quals poder formar-se àgilment amb més profunditat.
4. Fer treballs acadèmics de manera independent usant bibliografia -especialment en anglès-, bases de dades i col·laborant amb altres professionals.
5. Formular i abordar problemes físics, tant si són oberts com si estan més ben definits, identificar-ne els principis més rellevants i usar-hi aproximacions, si escau, per arribar a una solució que s'ha de presentar explicitant-ne les suposicions i les aproximacions.
6. Planejar, realitzar i presentar els resultats d'un estudi o recerca teòrics usant els mètodes apropiats i aportant propostes innovadores i competitives.
7. Raonar críticament, tenir capacitat analítica, usar correctament el llenguatge tècnic i elaborar arguments lògics.
8. Treballar autònomament, tenir iniciativa pròpia, ser capaç d'organitzar-se per assolir uns resultats i planejar i executar un projecte.
9. Treballar en grup, assumir responsabilitats compartides i interaccionar professionalment i de manera constructiva amb altres persones amb un respecte absolut als seus drets.
10. Usar les matemàtiques per descriure el món físic, seleccionar les equacions apropiades, construir models adequats, interpretar resultats matemàtics i comparar críticament amb experimentació i observació.

Continguts

• Part I (Aspectes teòrics)

1. Introducció
 1. Física i informació quàntiques.
 2. Axiomes de la mecànica quàntica.
2. Estats i mostres estadístiques
 1. El qubit.
 2. La matriu densitat.
 3. Sistemes bipartits.
 4. La descomposició de Schmidt.
 5. Interpretació estadística d'estats mescla.
3. Mesures i evolució temporal
 1. Mesures de von Neumann.
 2. Mesures generalitzades.
 3. Teorema de Neumark.
 4. Canals quàntics.
4. Entrellaçament i les seves aplicacions
 1. Estats EPR.
 2. Desigualtats de Bell.
 3. Codificació densa.

4. Teleportació d'estats.
5. Criptografia
 - 1. Criptografia clàssica.
 - 2. Criptografia quàntica.
6. Computació quàntica
 - 1. Màquines de Turing.
 - 2. Circuits i classificació de la complexitat.
 - 3. L'ordinador quàntic.
 - 4. Portes lògiques quàntiques.
 - 5. Algorismes de Deutsch-Josza i Simon.
 - 6. Cerca no estructurada: algorisme de Grover
 - 7. Mètode d'encryptació RSA.
 - 8. Factorització: algorisme de Shor.
7. Informació clàssica i quàntica
 - 1. Introducció a la probabilitat.
 - 2. Informació. Entropia de Shannon i informació mútua.
 - 3. Comunicació. El canal binari simètric. Capacitat d'un canal.
 - 4. Teoremes de Shannon.
 - 5. Diferència entre informació clàssica i quàntica.
 - 6. Entropia de von Neumann. Teorema de Shumacher.
 - 7. Informació de Holevo. Informació accessible i límit de Holevo.

Part II (Implementació física)

1. Breu repàs a la interacció llum matèria
 - 1. Teoria semiclàssica de la interacció llum-matèria.
 - 1. L'àtom de dos nivells.
 - 2. El desdoblament AC-Stark.
 - 3. Les oscil·lacions de Rabi.
 - 4. La força dipolar de la llum.
 - 1. Teoria quàntica de la interacció llum-matèria.
 - 1. Estats del camp e.m. quàntic.
 - 2. El model de Jaynes-Cummings.
 - 2. El problema de la decoherència.
2. Comunicació versus computació quàntica.
 - 1. Fonts de fotons entrellaçats.
 - 2. Control de la propagació de la llum.
 - 3. Emmagatzemament de l'estat quàntic de la llum.
3. Computació quàntica.
 - 1. Àtoms neutres en trapes dipolars
 - 2. Electrodinàmica Quàntica de Cavitats.
 - 3. Ions en trapes de Paul.
 - 4. Ressonància Magnètica Nuclear.
 - 5. Punts Quàntics.

Metodologia

El curs s'estructura en classes de teoria, classes de problemes i problemes per a entregar.

Les classes de teoria tenen el format de presentacions *keynote/powerpoint*.

Les classes de problemes es fan habitualment a la pissarra i consisteixen en la resolució dels problemes més significatius, els enunciats dels quals es posen a disposició de l'alumnat a través del *Campus Virtual* des del primer dia del curs.

Els problemes per a entregar, són 3 o 4 llistes de problemes de més complexitat i extensió que s'entreguen periòdicament al llarg del curs i que l'alumnat ha de resoldre i entregar abans de la seva correcció a classe en les dates prèviament acordades. L'objectiu és incentivar el treball autònom.

Tot el material: llistats de problemes, material docent addicional, resolució detallada d'alguns exercicis, així com les notícies relacionades amb el funcionament del curs, es posen a disposició de l'alumnat a través del *Campus Virtual*.

Activitats formatives

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Tipus: Dirigides			
Classes de problemes	15	0,6	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Classes de teoria	30	1,2	3, 5, 10
Tipus: Autònomes			
Estudi dels fonaments teòrics	33	1,32	1, 3, 5, 7, 10
Problemes per a entregar	20	0,8	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Resolució de problemes	40	1,6	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Avaluació

Es fa un únic examen escrit (i el seu corresponent examen de recuperació) a final de curs amb un pes del 70%. L'examen consta de dues parts, corresponents a les dues parts de l'assignatura, amb un pes de 2/3 pel que fa a la part d'aspectes teòrics, i 1/3 pel que fa a la part d'implementació física.

La puntuació dels problemes per a entregar té un pes del 30%.

Activitats d'avaluació

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Avaluació del problemes entregats	30	6	0,24	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Examen de l'assignatura	70	2,5	0,1	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10
Examen de recuperació	70	3,5	0,14	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10

Bibliografia

A través del *Campus Virtual*, es posa a disposició de l'alumnat apunts de l'assignatura en format pdf i còpia del *Keynote/Powerpoint* del curs. Per a ampliar informació es recomana la següent bibliografia:

Bàsica

Teoria

- J. Preskill. Lectures notes on Quantum Computation. Es pot obtenir gratuïtament a la direcció: <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229>.
- M.A. Nielsen; S.L. Chuang. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2000.

- A. Peres. Quantum Theory: Concepts and Methods. Kluwer, Dordrecht 1995.
- D. Applebaum. Probability and Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1996.
- D. Boumeester; A. Eckert; A. Zeilinger. The Physics of Quantum Information. Springer 2000.
- D. Heiss. Fundamentals of Quantum Information. Springer 2002.

Problemes

- C. P. Williams; S. Clearwater. Exploration in Quantum Computing. Springer 1998

Avançada

- R. A. Bertlmann; A. Zeilinger. Quantum (Un)speakables. Springer 2002.
- A. Ekert; R. Jozsa. Quantum Computation and Shor's Factoring Algorithm. Rev. Mod. Phys. 68 (1996) 733.