

Titulació	Tipus	Curs
Física	OP	4

Professor/a de contacte

Nom : Gael Sentís Herrera

Correu electrònic : gael.sentis@uab.cat

Equip docent

Gael Sentís Herrera

Alessio Celi

Mani Zartab

Idiomes dels grups

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

Prerequisits

És recomenable tenir un bon domini d'àlgebra, especialment d'espais vectorials i, preferiblement, d'espais Euclidis complexos. Naturalment es recomana tenir nocions de mecànica quàntica, però el curs és autocontingut. Coneixements d'òptica quàntica són complementaris i recomanables, però no imprescindibles.

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 són la base de les tecnologies quàntiques amb nombroses i sorprenents aplicacions pràctiques. En aquest curs se'n presenten algunes: teleportació, codificació densa, criptografia, computació i simulació quàntiques, etcètera. El curs està dirigit a físics, però també a matemàtics, informàtics i enginyers. En ser un curs autocontingut es farà 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. Es realitzarà doncs una introducció a la teoria semiclàssica i quàntica de la interacció llum-matèria, i es descriuran tan els principis com a la seva realització en sistemes físics concrets de la comunicació i computació/simulació quàntiques. L'objectiu de l'assignatura no és només donar una descripció dels avenços que s'han produït en informació quàntica, sinó també proporcionar a l'estudiant les eines bàsiques per a poder continuar la seva formació de postgrau en aquest camp, si aquest és el seu interès.

Resultats d'aprenentatge

1. Fer treballs acadèmics de manera independent usant bibliografia (especialment en anglès), bases de dades i col·laborant amb altres professionals.
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. Raonar críticament, tenir capacitat analítica, usar correctament el llenguatge tècnic i elaborar arguments lògics.
4. Treballar autònomament, tenir iniciativa pròpia, ser capaç d'organitzar-se per assolir uns resultats i planejar i executar un projecte.
5. Treballar en grup, assumir responsabilitats compartides i interaccionar professionalment i de manera constructiva amb altres persones amb un respecte absolut als seus drets.
6. Aplicar els axiomes de la mecànica quàntica a problemes de processament d'informació.
7. Diferenciar entre estats quàntics purs i barreges estadístiques.
8. Aplicar la mesura quàntica en el context de la teoria de la informació.
9. Descriure el concepte d'estat quàntic entrellaçat, la seva caracterització i la seva utilitat en la informació quàntica.
10. Descriure les similituds i diferències entre criptografia i computació clàssiques i les seves versions quàntiques i la seva relació amb els principis físics en què es basen aquestes últimes.
11. Descriure les bases de la interacció llum-matèria necessàries per entendre les implementacions físiques de la criptografia i computació quàntiques.
12. Establir els principals protocols de criptografia quàntica.
13. Descriure les principals implementacions de computació quàntica.
14. Conèixer la descomposició de Schmidt d'estats quàntics bipartits.
15. Formular la interpretació estadística d'estats quàntics barreja.
16. Conèixer la mesura de Von Neumann i les mesures generalitzades.
17. Conèixer els estats EPR i formular les desigualtats de Bell.
18. Conèixer els algorismes quàntics de Deutsch-Jozsa, Grover i Shor.
19. Conèixer el concepte d'entropia de Shannon i capacitat d'un canal i els teoremes corresponents.
20. Conèixer les versions quàntiques dels esmentats conceptes i teoremes.
21. Conèixer el protocol BB84 i Eckert91 de criptografia quàntica.
22. Conèixer implementacions físiques de portes lògiques quàntiques d'un i dos qubits.
23. Utilitzar el concepte d'estat barreja per resoldre problemes senzills amb sistemes oberts.
24. Aplicar el concepte de mesura quàntica (de Von Neumann o generalitzada) a problemes d'optimització de problemes senzills de discriminació, estimació i comunicació quàntiques.
25. Utilitzar la teoria semiclàssica de la interacció llum-matèria per entendre el refredament i atrapament de partícules, així com la implementació de portes lògiques d'un sol qubit.
26. Utilitzar la teoria quàntica de la interacció llum-matèria per entendre les característiques de les fonts quàntiques de llum.
27. Contrastar la teoria clàssica de la informació amb la teoria quàntica.
28. Relacionar els fonaments de la informació quàntica amb les principals implementacions físiques actuals de criptografia i computació quàntiques.
29. Aplicar la formulació matricial de la mecànica quàntica a protocols i algorismes quàntics.
30. Resoldre problemes sobre la caracterització de l'entrellaçament en estats quàntics mitjançant la descomposició de Schmidt.
31. Fer un treball que relacioni els conceptes d'informació i computació quàntiques estudiats amb temes frontera actuals i presentar-ne els resultats.
32. Identificar situacions que necessiten un canvi o millora.
33. Identificar les implicacions socials, econòmiques i mediambientals de les activitats academicoprofessionals de l'àmbit de coneixement propi.

Continguts

Part I (Aspectes teòrics)

1. Física quàntica operacional
2. Estats quàntics
3. Vectors en l'espai de Hilbert

4. Matrius densitat i estats barreja
5. Esfera de Bloch
6. Distància i fidelitat entre estats barreja
7. Mesures quàntiques
8. Observables i mesures projectives
9. Mesures generalitzades
10. Aplicacions
11. Sistemes compostos
12. El producte tensorial
13. Combinant sistemes
14. Entrellaçament d'estats purs
15. Codificació superdensa
16. Teleportació
17. Processos quàntics
18. Traça parcial i purificació
19. Sistemes auxiliars i operadors de Kraus
20. Mapes completament positius
21. Entrellaçament d'estats barreja
22. LOCC
23. El criteri de Peres-Horodecki
24. Testimonis d'entrellaçament
25. Comunicació i computació quàntiques
26. Teoria de la informació clàssica
27. Entropia de Shannon
28. Entropies conjunta i relativa. Informació mútua
29. El canal binari simètric. Capacitat d'un canal
30. Teoremes de Shannon
31. Teoria de la informació quàntica
32. Entropia de von Neumann
33. Entropia relativa quàntica
34. Informació de Holevo, informació accessible i límit de Holevo
35. Computació clàssica
36. Màquines de Turing
37. El problema de la parada (*halting problem*)
38. Complexitat computacional
39. Classes de complexitat
40. El model de circuits
41. Algorismes quàntics basats en oracles
42. Oracles
43. L'algorisme de Deutsch
44. L'algorisme de Deutsch-Jozsa
45. El problema de Simon
46. L'algorisme de Grover
47. El model de circuits de computació quàntica
48. Portes d'un qubit
49. Portes de dos i més qubits
50. Implementació d'unitàries oraculars
51. Un set de portes universal
52. Computacions quàntiques arbitràries
53. Complexitat computacional quàntica
54. L'algorisme de Shor

1. Breu repàs a la interacció llum matèria
2. Teoria semiclàssica de la interacció llum-matèria.
3. L'àtom de dos nivells.
4. El desdoblament AC-Stark.
5. Les oscil·lacions de Rabi.
6. La força dipolar de la llum.
7. Teoria quàntica de la interacció llum-matèria.
8. Estats del camp e.m. quàntic.
9. El model de Jaynes-Cummings.
10. El problema de la decoherència.
11. Comunicació quàntica.
12. Criptografia quàntica: protocols BB84 i Ekert91.
13. Desigualtats de Bell.
14. Generació de fotons individuals
15. Propagació de fotons individuals.
16. Detecció de fotons individuals.
17. Computació i simulació quàntiques.
18. Àtoms neutres (estat fonamental i Rydberg) en trapes dipolars
19. Electrodinàmica Quàntica de Cavitats.
20. Ions en trapes de Paul.
21. Qubits superconductors.

Activitats formatives i Metodologia

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Classes de problemes	16	0,64	2, 5, 6, 7, 8, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 32, 33
Resolució de problemes	40	1,6	3, 4, 6, 7, 8, 23, 24, 29, 30
Problemes per a entregar	3	0,12	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33
Classes de teoria	33	1,32	3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27, 28, 32, 33
Estudi dels fonaments teòrics	49	1,96	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27, 28

El curs s'estructura en classes de teoria, classes de problemes i activitats d'avaluació continuada.

Les classes de teoria tenen dos formats: pissarra i presentacions amb projector. Hi haurà algunes classes/seminaris sobre alguns temes del curs que seran presentats per investigadors del camp de la Informació Quàntica.

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.

Hi haurà dues sessions de seminari de dues hores cadascuna dedicades a la resolució de problemes de manera autònoma per grups. Les solucions s'hauran de lliurar al final de la sessió, i seran avaluables.

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.

Nota: es reservaran 15 minuts d'una classe, dins del calendari establert pel centre/titulació, perquè l'alumnat completi les enquestes d'avaluació de l'actuació del professorat i d'avaluació de l'assignatura.

Avaluació

Activitats d'avaluació continuada

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Prova de recuperació oral de conceptes teòrics	56	0,5	0,02	2, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30
Prova final test sobre tecnologies quàntiques	15	1	0,04	10, 11, 12, 13, 17, 21, 22, 25, 26, 28
Prova final oral de conceptes teòrics	35	0,5	0,02	2, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30
Prova parcial test sobre tecnologies quàntiques	9	1	0,04	10, 11, 12, 13, 17, 21, 22, 25, 26, 28
Lliurament d'exercicis realitzats per grups a classe (treball autònom)	20	3	0,12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 24, 27, 31, 32, 33
Prova recuperació test sobre tecnologies quàntiques	24	1	0,04	10, 11, 12, 13, 17, 21, 22, 25, 26, 28
Prova parcial sobre conceptes teòrics	21	2	0,08	2, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30

L'avaluació consta de les següents activitats:

1. Lliurament d'exercicis realitzats a classe per grups de manera autònoma, amb un pes del 20%. Hi hauran 2 classes (3 hores en total) dedicades a aquesta activitat.
2. Una prova parcial de conceptes teòrics, amb un pes del 21%
3. Una prova parcial tipus test de tecnologies quàntiques, amb un pes del 9%
4. Una prova final oral de conceptes teòrics, amb un pes del 35%
5. Una prova final tipus test de tecnologies quàntiques, amb un pes del 15%

És necessari haver estat avaluat en les dues proves de conceptes teòrics / tecnologies quàntiques per poder presentarse a les corresponents proves de repesca. Un alumne que només hagi realitzat l'activitat 1 es considerarà no avaluable.

En aquesta assignatura, no es permet l'ús de tecnologies d'Intel·ligència Artificial (IA) en cap de les seves fases. Qualsevol treball que inclogui fragments generats amb IA serà considerat una falta d'honestedat acadèmica i pot comportar una penalització parcial o total en la nota de l'activitat, o sancions majors en casos de gravetat.

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.
- S.M. Barnett, Quantum Information, Oxford University Press, 2009.
- 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

- Steeb, Willi-Hans, and Yorick Hardy. *Problems and solutions in quantum computing and quantum information*. World Scientific Publishing Company, 2018.
- 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.
- T.A. Cover; J.A Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley 2006.

Programari

Qiskit (IBM Quantum programming language)

Grups i idiomes de l'assignatura

La informació proporcionada és provisional fins al 30 de novembre.
A partir d'aquesta data, podreu consultar l'idioma de cada grup a través d'aquest [enllaç](#). Per accedir a la informació, caldrà introduir el CODI de l'assignatura

Tipus de docència	Grup	Idioma	Semestre	Torn
(TE) Teoria	1	Anglès	segon quadrimestre	tarda
(PAUL) Pràctiques d'aula	1	Anglès	segon quadrimestre	tarda