

Informació Quàntica

Codi: 104408
Crèdits: 6

Titulació	Tipus	Curs	Semestre
2503740 Matemàtica Computacional i Anàlisi de Dades	OB	3	2

La metodologia docent i l'avaluació proposades a la guia poden experimentar alguna modificació en funció de les restriccions a la presencialitat que imposin les autoritats sanitàries.

Professor/a de contacte

Nom: Alessio Celi
Correu electrònic: Alessio.Celi@uab.cat

Utilització d'idiomes a l'assignatura

Llengua vehicular majoritària: català (cat)
Grup íntegre en anglès: No
Grup íntegre en català: Sí
Grup íntegre en espanyol: No

Equip docent

Anna Sanpera Trigueros
Gael Sentís Herrera
Andreas Johannes Winter

Prerequisits

És recomenable tenir un bon domini d'àlgebra, especialment d'espais vectorials i, preferiblement, d'espais Euclidis complexos. Es recomana també tenir familiaritat amb conceptes bàsics d'informació clàssica, tractats al curs "Teoria de la informació" al primer trimestre.

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: teletransport, codificació densa, desigualtats de Bell, criptografia, computació quàntiques, etcètera. El curs està dirigit matemàtics amb una forta vocació informàtica d'anàlisi de dades, per tant, caldrà proveir la formació física imprescindible amb una introducció als fonaments de la mecànica quàntica, a la criptografia i a la computació clàssiques. Es repassen també uns conceptes bàsics de la teoria clàssica de la informació. El curs té també una component computacional, es faran simulacions numèriques de diversos fenòmens i s'usaran prototips d'ordinadors quàntics per a programar diversos protocols. 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 post grau en aquest camp, si aquest és el seu interès.

Competències

- Avaluar de manera crítica i amb criteris qualitat el treball realitzat.

- Demostrar una elevada capacitat d'abstracció i de traducció de fenòmens i comportaments a formulacions matemàtiques.
- Planejar i realitzar estudis de sistemes físics i interpretar-ne els resultats, utilitzant mètodes analítics o numèrics.
- Que els estudiants hagin demostrat que comprenen i tenen coneixements en una àrea d'estudi que parteix de la base de l'educació secundària general, i se sol trobar a un nivell que, si bé es basa en llibres de text avançats, inclou també alguns aspectes que impliquen coneixements procedents de l'avantguarda d'aquell camp d'estudi.
- Que els estudiants sàpiguen aplicar els coneixements propis a la seva feina o vocació d'una manera professional i tinguin les competències que se solen demostrar per mitjà de l'elaboració i la defensa d'arguments i la resolució de problemes dins de la seva àrea d'estudi.
- Que els estudiants tinguin la capacitat de reunir i interpretar dades rellevants (normalment dins de la seva àrea d'estudi) per emetre judicis que incloguin una reflexió sobre temes destacats d'índole social, científica o ètica.
- Utilitzar eficaçment la bibliografia i els recursos electrònics per obtenir informació.

Resultats d'aprenentatge

1. Aplicar el concepte de mesura quàntica a problemes d'optimització de problemes senzills de discriminació, estimació i comunicació quàntiques.
2. Avaluar de manera crítica i amb criteris de qualitat el treball desenvolupat.
3. Comprendre l'impacte de les tecnologies quàntiques en computació, criptografia i altres protocols de comunicació.
4. Dominar els principis i el formalisme de Dirac i matricial de la física quàntica.
5. Explicar els postulats de la física quàntica i aplicar-los a problemes de processament d'informació.
6. Que els estudiants hagin demostrat que comprenen i tenen coneixements en una àrea d'estudi que parteix de la base de l'educació secundària general, i se sol trobar a un nivell que, si bé es basa en llibres de text avançats, inclou també alguns aspectes que impliquen coneixements procedents de l'avantguarda d'aquell camp d'estudi.
7. Que els estudiants sàpiguen aplicar els coneixements propis a la seva feina o vocació d'una manera professional i tinguin les competències que se solen demostrar per mitjà de l'elaboració i la defensa d'arguments i la resolució de problemes dins de la seva àrea d'estudi.
8. Que els estudiants tinguin la capacitat de reunir i interpretar dades rellevants (normalment dins de la seva àrea d'estudi) per emetre judicis que incloguin una reflexió sobre temes destacats d'índole social, científica o ètica.
9. Utilitzar eficaçment la bibliografia i els recursos electrònics per obtenir informació.

Continguts

0. Repàs de probabilitat i informació

- Probabilitats condicionades
- Entropia i informació.
- Teoria de la comunicació

1. Elements de la teoria quàntica

- Principis bàsics.
- Estats mixtes
- Operadors unitaris
- Qubits
- Estats entrelaçats
- Mesures de von Neumann.

2. Mesures generalitzades

- Mesures generalitzades
- Mesures optimitzades

- Operacions

3. Criptografia quàntica

- Seguretat de la informació
- Comunicacions quàntiques
- Distribució de claus quàntiques

4. Entanglement

- No localitat
- Mesures indirectes
- Ebits i entanglement compartit
- Codificació densa quàntica
- Teleportació

5. Processament quàntic d'informació

- Electrònica digital
- Portes quàntiques
- Circuits quàntics
- Correcció quàntica d'errors

6. Computació quàntica

- Elements d'informàtica.
- Principis de la computació quàntica.
- Algoritme Deutsch-Jozsa
- Algoritme de Grover
- La transformada quàntica de Fourier
- Algoritme de Shor
- Requisits físics

7. Teoria de la informació quàntica

- L'entropia de von Neumann
- Teorema de compressió
- Informació accessible
- Sistemes compostos
- Mesures d'entrellaçament
- Teoria quàntica de les comunicacions

Metodologia

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

Les classes de teoria tenen el format de presentacions *keynote/powerpoint*. Hi ha haurà algunes classes/seminaris sobre alguns temes del curs que seran presentats per investigadors del camp de la Informació Quàntica. Aquests seminaris seran generalment en anglès.

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 6 lliuraments. L'objectiu és aprofundir, consolidar i estendre els coneixements dels alumnes sobre aspectes i resultats tractats al llarg del curs. Així doncs, el lliuraments podran contenir problemes o qüestions de més complexitat i extensió. Aquests s'hauran d'entregar periòdicament al llarg del curs i en les dates prèviament acordades. L'objectiu d'aquestes activitats 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*.

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 teòriques	28	1,12	3, 5, 9
Seminarios temas específicos	10	0,4	3
Tipus: Supervisades			
Projectes amb ordinadors quàntic online	12	0,48	2, 3, 5
Tipus: Autònomes			
Estudi dels fonaments teòrics	20	0,8	1, 3, 5, 8, 9
Exercicis per a entregar	36	1,44	1, 2, 3, 4, 9
Resolució numèrica d'exercicis	36	1,44	1, 2, 3, 8, 9

Avaluació

L'avaluació consta de les següents activitats

1. Una prova de conceptes teòrics, amb un pes de l'45%
2. Una prova sobre aspectes computacionals amb un pes de l'20%
3. Lliurament d'exercicis realitzats de forma autònoma al llarg de el curs, amb un pes de l'30%
4. Assistència i participació activa en els seminaris específics que es realitzaran durant el curs, amb un pes de l'5%

Els alumnes que hagin estat avaluats a l'mínim en un 66% de les activitats totals, podran presentar-se a les proves de repesca de les activitats 1 i 2. Un alumne que només hagi realitzat les activitats 3, 4 es considerarà no avaluable.

Activitats d'avaluació

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Assistència i participació en seminaris especialitzats	5	0	0	1, 3, 4, 5, 6, 7, 9
Lliurament d'exercicis realitzats de forma autònoma	30	0	0	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9
Prova avaluació aspectes computacionals	20	1,5	0,06	3, 4, 6, 7, 9
Prova d'avaluació de conceptes teòrics	45	2,5	0,1	1, 3, 4, 5

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

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

Problemas

- 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

Programari

IBM quantum composer