Guia docent
2301117 - QBAP - Aplicacions Quàntiques

Última modificació: 17/06/2023

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona
Unitat que imparteix: 739 - TSC - Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions.

Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN FOTÒNICA (Pla 2013). (Assignatura optativa).

Curs: 2023 **Crèdits ECTS:** 3.0 **Idiomes:** Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: Juan P. Torres, professor at Signal Theory and Communications (TSC) Department, Universitat Politecnica de Catalunya (UCP), and Group Leader of Quantum Engineering of Light group at ICFO-Institute of Photonic Sciences

Altres: Juan P. Torres, professor at Signal Theory and Communications (TSC) Department, Universitat Politecnica de Catalunya (UCP), and Group Leader of Quantum Engineering of Light group at ICFO-Institute of Photonic Sciences

CAPACITATS PRÈVIES

Coneixements bàsics d'algebra i teoria quàntica

REQUISITS

Cap requisit

METODOLOGIES DOCENTS

- Classes
- Resolució d'exercicis en classe

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

La teoria quàntica no és només una gran invenció del pensament humà, sinó també, gairebé des del principi, una font de noves tecnologies que acaben afectant la vida diària de la gent en qualsevol part del món. El làser, el transistor, els rellotges atòmics i la tomografia per emissió de positrons són exemples d'això, per esmentar algunes aplicacions.
En les últimes dècades, un conjunt de noves idees, que combinen la teoria quàntica i conceptes de Teoria de la Informació, estan trobant el seu camí cap a la seva conversió en aplicacions (Informació quàntica). La idea de qubit sintetitza de manera precisa la manera peculiar en què la teoria quàntica considera la informació. Alguns qualifiquen aquest estadi en el desenvolupament de la teoria quàntica com una segona revolució (veure Alain Aspect, John Bell and the second quàntum revolution, pròleg per a la nova edició de Speakable and unexplicable in quàntum mechanics, Cambridge University Press, 2004). Aquestes noves aplicacions són possibles ara per les extraordinàries millores que han tingut lloc en les última dècades en la nostra capacitat de generar, manipular i detectar amb gran precisió una gran varietat d'estats quàntics d'àtoms i fotons.
El desenvolupament de moltes d'aquestes noves aplicacions encara està en els seus començaments. Quin nivell de desenvolupament aconseguiran, i que impacte tindran en la Societat, és difícil de preveure. Importants empreses de tecnologia, que basen la seva activitat en la Informació, han creat equips de recerca i desenvolupament dedicats a la ciència quàntica i les seves aplicacions, especialment a la computació quàntica: IBM (https://research.ibm.com/quantum-computing), Google (https://quantumai.google/), Microsoft (https://www.microsoft.com/en-us/quantum/). La Unió Europea té un programa dedicat a secundar i incentivar el desenvolupament d'aplicacions quàntiques (Quàntum Technologies Flagship, 2018-2028).
L'objectiu d'aquest curs és revelar que conceptes quàntics fonamentals fan especial una aplicació quàntica, i permeten obtenir una millor solució a un problema, quan es compara amb altres solucions alternatives. Volem ressaltar el que fa quàntica una aplicació quàntica. Amb aquest propòsit, considerarem exemples rellevants, però simples. Això ens permetrà fer anàlisis detallades, la qual cosa facilitarà l'exploració de que és quàntic de les aplicacions quàntiques. Analitzarem aplicacions quàntiques, sobre les quals hi ha altes expectatives actualment, en tres àrees de la tecnologia de la informació: comunicacions quàntiques (comunicacions segures), sensors quàntics i formació d'imatges quàntiques, i computació quàntica.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores aprenentatge autònom	51,0	68.00
Hores grup gran	24,0	32.00

Dedicació total: 75 h

CONTINGUTS

1. Introducción (2 hores)

Descripció:
1.1 Pensament quàntic amb sabor de Teoria de la Informació: Informació quàntica.
1.2 Generació, manipulació i detecció d'estats quàntics d'àtoms i fotons (Enginyeria quàntica).
1.3 Una visió general d'aplicacions quàntiques: comunicacions, formació d'imatges amb tècniques quàntiques i sensors quàntics, computació i simulacions.

Dedicació: 2h
Grup gran/Teoria: 2h

2. Comunicacions segures (6 hores)

Descripció:
2.1 Idees quàntiques: que discernibles són dos estats quàntics i la impossibilitat de copiar fidelment informació quàntica (no-cloning theorem).
2.2 La clau perfecta existeix: el protocol one-pad i la qüestió de la distribució de la clau.
2.3 Seguretat gràcies a quàntum indistinguishability: El protocol de distribució de clau quàntica de Bennet-Brassard (BB84).
2.4 Seguretat gràcies a quantum entanglement: El protocol de distribució de clau quàntica de Ekert (EK91).
2.5 Perspectiva sobre les aplicacions: impediments tècnics que cal vèncer.

Dedicació: 6h
Grup gran/Teoria: 6h

3. Quantum imaging i quantum sensing (8 hores)

Descripció:
3.1 Idees quàntiques: estats quàntics exòtics amb propietats particulars.
3.2 Quantum Fisher Information i Quantum Cramer-Rao bound (teories de l'estimació quàntica). Concepte de mesura òptima.
3.3 Exemples: estats quàntics NOON, l'efecte Hong-Ou-Mandel, interferòmetre atòmic de Ramsey, interferòmetre fotònic SU(1,1).
3.4 Simulant (part) del món quàntic: protocols clàssics inspirats per protocoles quàntics.

Dedicació: 8h
Grup gran/Teoria: 8h

4. Computació quàntica (8 hores)

Descripció:
4.1 Idees quàntiques: principi de superposició (tot el que pot passar, passarà). Portes lògiques quàntiques.
4.2 Exemples: algorisme de Deutsch–Jozsa, boson sampling i l'algorisme de Shor.
4.3 Impediments tècnics que cal vèncer: la decoherencia

Dedicació: 8h
Grup gran/Teoria: 8h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

1) Un o dos breus exàmens escrits (40%)
2) Treballs a realitzar a casa, individuals o en grup (60%)

BIBLIOGRAFIA

Complementària:

- Susskind, Leonard ; Friedman, Art. Quantum Mechanics: The theoretical minimum. New York: Basic Books, 2014. ISBN 9780465036677.
- Gisin; N. Quantum chance: nonlocality, teleportation and other quantum marvels [en línia]. Cham: Springer International Publishing, 2014 [Consulta: 04/07/2023]. Disponible a: https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1782235. ISBN 9783319054735.
- Cox, Brian; Forshaw, Jeff. The quantum universe. Da Capo Press, 2013. ISBN 9780306821448.
- Mermin, N. David. Quantum computer science: an introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. ISBN 9780521876582.
- Lipton, Richard J. ; Regan, Kenneth W. Quantum algorithms via linear algebra [en línia]. 2nd ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2021 [Consulta: 06/09/2023]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=6534503. ISBN 9780262362153.
- Kaiser, D. How the hippies saved physics: science, counterculture, and the quantum revival. New York: W.W. Norton & Co., 2011. ISBN 9780393342314.
- Haroche, S.; Raimond, J.-M. Exploring the quantum: atoms, cavities and photons. Oxford: Oxford University Press, 2006. ISBN 0198509146.
- Halpern, P. Einstein's dice and Schrödinger's cat: how two great minds battled quantum randomness to create a unified theory of physics. New York: Basic books, 2016. ISBN 9780465096831.
- Peres, Asher. Quantum Theory: Concepts and Methods [en línia]. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002 [Consulta: 26/06/2023]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/0-306-47120-5. ISBN 9781280609497.
- Gerry, Christopher C.; Bruno, Kimberley M. The quantum divide: why Schrodinger's cat is either dead or alive. Oxford: Oxford University Press, 2013. ISBN 9780199666560.
- Ball, P. Beyond weird: why everything you thought you knew about quantum physics is ... different. London: Vintage, 2019. ISBN 9781784706081.
- Furusawa, Akira. Quantum states of light [en línia]. Tokyo: Springer, 2015 [Consulta: 10/01/2024]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-4-431-55960-3. ISBN 9784431559603.
- Feynman, Richard P.. QED: the strange theory of light and matter. Princenton, NJ: Princenton University Press, 1985. ISBN 9780691083889.
- Le Bellac, M. The quantum world [en línia]. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2014 [Consulta: 07/07/2023]. Disponible a: https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8856#t=toc. ISBN 9789814522434.
- Nielsen, Michael A.; Chuang, Isaac L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambrodge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9781107002173.