

## Course guide

# 230578 - QS - Quantum Simulators with Ultracold Quantum Gases

Last modified: 06/06/2023

**Unit in charge:** Barcelona School of Telecommunications Engineering  
**Teaching unit:** 1004 - UB - (ENG)Universitat de Barcelona.  
**Degree:** MASTER'S DEGREE IN PHOTONICS (Syllabus 2013). (Optional subject).  
**Academic year:** 2023    **ECTS Credits:** 3.0    **Languages:** English

### LECTURER

---

**Coordinating lecturer:** Consultar aquí / See here:  
<https://telecos.upc.edu/ca/estudis/curs-actual/professorat-responsables-coordinadors/responsables-assignatura>

**Others:** Consultar aquí / See here:  
<https://telecos.upc.edu/ca/estudis/curs-actual/professorat-responsables-coordinadors/professorat-assignat-idioma>

### DEGREE COMPETENCES TO WHICH THE SUBJECT CONTRIBUTES

---

#### Specific:

CE7. (ENG) Màster en Fotònica:

Capacidad de entender la ingeniería óptica como una actividad económica y empresarial considerando, entre otros, aspectos sociales, éticos y de sostenibilidad

CE9. (ENG) Màster en Fotònica:

Capacidad para sintetizar y exponer los resultados de investigación en fotonica según los procedimientos y convenciones de las presentaciones científicas en inglés.

CE2. (ENG) Màster en Fotònica:

Demostrar que comprende las peculiaridades que comporta el modelo cuántico para la interacción luz-materia.

#### Generical:

CG4. (ENG) Màster en Fotònica:

Capacidad para entender el carácter generalista y multidisciplinario de la fotonica viendo su aplicación por ejemplo a la medicina, biología, energía, comunicaciones o la industria

CG1. (ENG) Màster en Fotònica:

Capacidad para proyectar, diseñar e implantar productos, procesos, servicios e instalaciones en algunos ámbitos de la fotonica como los relacionados con la ingeniería fotonica, la nanofotonica, la óptica cuántica, las telecomunicaciones y la biofotonica

CG2. (ENG) Màster en Fotònica:

Capacidad para la modelización, cálculo, simulación, desarrollo e implantación en centros de investigación, centros tecnológicos y empresas, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la Fotónica.

### Transversal:

CT1. (ENG) Màster en Fotònica:

EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN. Conocer y entender los mecanismos en que se basa la investigación científica, así como los mecanismos e instrumentos de transferencia de resultados entre los diferentes agentes socioeconómicos implicados en los procesos de I+D+i.

CT4. (ENG) Màster en Fotònica:

USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN. Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de la especialidad y valorar de forma crítica los resultados de esta gestión.

CT5. (ENG) Màster en Fotònica:

INGLÉS. Acreditar un nivel adecuado de este idioma, tanto de forma oral como por escrito, en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados.

CT3. (ENG) Màster en Fotònica:

TRABAJO EN EQUIPO. Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar ya sea como un miembro más, o realizando tareas de dirección con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles

### Basic:

CB7. (ENG) Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

CB10. (ENG) Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CB8. (ENG) Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicio.

## TEACHING METHODOLOGY

- Lectures
- Activities

## LEARNING OBJECTIVES OF THE SUBJECT

This course will cover the most recent developments in quantum simulation with ultracold quantum gases. In the last years these systems have emerged as an ideal playground for the simulation of many-body quantum phenomena thanks to the large degree of control and excellent isolation from the environment. The lecture will cover recent topics of the field: fermionic gases, artificial gauge fields for quantum Hall physics, Josephson junctions and macroscopic quantum tunneling, and Hubbard models.

## STUDY LOAD

| Type              | Hours | Percentage |
|-------------------|-------|------------|
| Self study        | 51,0  | 68.00      |
| Hours large group | 24,0  | 32.00      |

**Total learning time:** 75 h

## CONTENTS

### Dilute Fermi gases

#### Description:

The ideal gas of fermions. Weakly interacting fermions. Pairing in dilute Fermi gases (BCS theory). BCS-BEC crossover. Excitations.

#### Full-or-part-time: 6h

Theory classes: 6h



### Artificial gauge fields

**Description:**

Rotating BECs. Bosonic Hall phases. Mean field theory. Landau Level quantization. Laughlin wave function. Gauge potentials for a two level system. Non-abelian gauge potentials.

**Full-or-part-time:** 6h

Theory classes: 6h

### Macroscopic quantum tunnelling

**Description:**

Two-site system. Bosonic Josephson junctions. Semi-classical description. Quantum aspects.  $SU(2)$  description. Simulation of Lipkin-Meshkov-Glick model. Experimental realisations. Few-site systems.

**Full-or-part-time:** 4h

Theory classes: 4h

### Optical lattices - Artificial solids

**Description:**

Optical lattices. Non interacting systems. Bose-Hubbard model. Superfluid - Mott insulator transition. Fermi Hubbard model: Mott insulator and quantum magnetism.

**Full-or-part-time:** 8h

Theory classes: 8h

## GRADING SYSTEM

Attendance to be evaluated: >80% of the lecture time

- Exam: written or oral (60%)
- Homework assessments (40%)

## BIBLIOGRAPHY

**Basic:**

- Cooper, N.R. "Rapidly rotating atomic gases". Advances in Physics [on line]. vol. 57, num 6, October 2008 [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <http://www.informaworld.com/openurl?genre=journal&issn=0001-8732>.- Pitaevskii, L.P.; Stringari, S. Bose-Einstein condensation. Oxford: Clarendon Press, 2003. ISBN 9780198507192.
- Dalibard, J.; Gerbier, F.; Juzeliunas, G.; Öhberg, P. "Artificial gauge potentials for neutral atoms". Reviews of Modern Physics [on line]. Vol. 83, Iss. 4, October - December 2011 [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <http://journals.aps.org/rmp/>.- Pethick, C. J.; Smith, H. Bose-Einstein condensation in dilute gases. Cambridge University Press, 2008. ISBN 9780521846516.

**Complementary:**

- Giorgini, S.; Pitaevskii, L.P.; Stringari, S. "Theory of ultracold atomic Fermi gases". Review of Modern Physics [on line]. vol. 80, issue 4, oct 2008 [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <http://journals.aps.org/rmp/>.- Ketterle, W.; Zwierlein, M. "Making, probing and understanding ultracold Fermi gases". Proceedings of the International School on Physics Enrico Fermi 2006 [on line]. [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <https://arxiv.org/abs/0801.2500>.- Bloch, I.; Dalibard, J.; Nascimbène, S. "Quantum simulations with ultracold quantum gases". Nature Physics [on line]. num 8, p.267-276, 2012 [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <http://www.nature.com/nphys/index.html>.- Esslinger, T. "Fermi-Hubbard physics with atoms in an optical lattice". Annual Review in Condensed Matter Physics [on line]. vol. 1, 2010 [Consultation: 24/11/2016]. Available on: <http://www.annualreviews.org/eprint/cpKn26dCPrA4kV8TCzWw/full/10.1146/annurev-conmatphys-070909-104059>.- Lewenstein, M.; Sanpera, A.; Ahufinger, V. Ultracold atoms in optical lattices : simulating quantum many-body systems. Oxford: Oxford University



Press, 2012. ISBN 9780199573127.

## RESOURCES

---

### Hyperlink:

- Lectures du College de France by J. Dalibard. Courses 2013 and 2014.. [http://www.phys.ens.fr/dalibard/CdF/2013/Cours\\_2013.pdf](http://www.phys.ens.fr/dalibard/CdF/2013/Cours_2013.pdf)  
[http://www.phys.ens.fr/dalibard/index\\_en](http://www.phys.ens.fr/dalibard/index_en)