

## 230578 - QS - Quantum Simulators with Ultracold Quantum Gases

Coordinating unit: 230 - ETSETB - Barcelona School of Telecommunications Engineering  
 Teaching unit: 1004 - UB - (ENG)Universitat de Barcelona  
 Academic year: 2018  
 Degree: MASTER'S DEGREE IN PHOTONICS (Syllabus 2013). (Teaching unit Optional)  
 ERASMUS MUNDUS MASTER'S DEGREE IN PHOTONICS ENGINEERING, NANOPHOTONICS AND  
 BIOPHOTONICS (Syllabus 2010). (Teaching unit Optional)  
 ECTS credits: 3 Teaching languages: English

### Teaching staff

Coordinator: Bruno Juliá Díaz (UB)  
 Others: Leticia Tarruel (ICFO)(

### Degree competences to which the subject contributes

#### 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.

#### 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.

#### Generic:

- 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 fotónica, la nanofotónica, la óptica cuántica, las telecomunicaciones y la biofotónica
- 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

## 230578 - QS - Quantum Simulators with Ultracold Quantum Gases

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

### 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

|                          |                    |         |        |
|--------------------------|--------------------|---------|--------|
| Total learning time: 75h | Hours large group: | 22h 30m | 30.00% |
|                          | Hours small group: | 2h 15m  | 3.00%  |
|                          | Self study:        | 50h 15m | 67.00% |

## 230578 - QS - Quantum Simulators with Ultracold Quantum Gases

### Content

|                                                                                                                                                                                                                      |                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Dilute Fermi gases                                                                                                                                                                                                   | Learning time: 6h<br>Theory classes: 6h |
| Description:<br>The ideal gas of fermions. Weakly interacting fermions. Pairing in dilute Fermi gases (BCS theory). BCS-BEC crossover. Excitations.                                                                  |                                         |
| Artificial gauge fields                                                                                                                                                                                              | Learning time: 6h<br>Theory classes: 6h |
| Description:<br>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.                     |                                         |
| Macroscopic quantum tunnelling                                                                                                                                                                                       | Learning time: 4h<br>Theory classes: 4h |
| Description:<br>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. |                                         |
| Optical lattices - Artificial solids                                                                                                                                                                                 | Learning time: 8h<br>Theory classes: 8h |
| Description:<br>Optical lattices. Non interacting systems. Bose-Hubbard model. Superfluid - Mott insulator transition. Fermi Hubbard model: Mott insulator and quantum magnetism.                                    |                                         |

### Qualification system

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

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

## 230578 - QS - Quantum Simulators with Ultracold Quantum Gases

### Bibliography

#### Basic:

Pethick, C. J.; Smith, H. Bose-Einstein condensation in dilute gases. Cambridge University Press, 2008. ISBN 9780521846516.

Pitaevskii, L.P.; Stringari, S. Bose-Einstein condensation. Oxford: Clarendon Press, 2003. ISBN 9780198507192.

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>>.

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/>>.

#### Complementary:

Lewenstein, M.; Sanpera, A.; Ahufinger, V. Ultracold atoms in optical lattices : simulating quantum many-body systems. Oxford: Oxford University Press, 2012. ISBN 9780199573127.

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>>.

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>>.

#### Others 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)