

## Óptica Cuántica

Código: 100180

Créditos ECTS: 6

**2025/2026**

Titulación	Tipo	Curso
Física	OT	4

### Contacto

Nombre: Adam Valles Mari

Correo electrónico: adam.valles@uab.cat

### Equipo docente

Alessio Celi

Axel Pérez-Obiol Castañeda

### Idiomas de los grupos

Puede consultar esta información al [final](#) del documento.

### Prerrequisitos

No hay pre-requisitos. No obstante se recomienda haber cursado Física Cuántica I y II.

### Objetivos y contextualización

El objetivo de esta asignatura es proporcionar al alumnado los conceptos fundamentales del campo de la Óptica Cuántica. En concreto, estudiaremos en detalle los fenómenos de interacción luz-materia a nivel microscópico usando la teoría semicásica y cuántica. Este conocimiento es la base de campos de investigación muy activos como la física de los láseres, el control coherente de ondas de materia, el enfriamiento y la captura de átomos, las memorias cuánticas o la información cuántica. A lo largo del curso se proporcionarán las conexiones con estos campos y se realizarán discusiones de resultados de investigación recientes.

### Competencias

- Actuar en el ámbito de conocimiento propio valorando el impacto social, económico y medioambiental.
- Aplicar los principios fundamentales al estudio cualitativo y cuantitativo de las diferentes áreas particulares de la física.
- Comunicar eficazmente información compleja de forma clara y concisa, ya sea oralmente, por escrito o mediante TIC, y en presencia de público, tanto a audiencias especializadas como generales.

- Conocer las bases de algunos temas avanzados, incluyendo desarrollos actuales en la frontera de la Física, sobre los que poder formarse posteriormente con mayor profundidad.
- Formular y abordar problemas físicos identificando los principios más relevantes y usando aproximaciones, si fuera necesario, para llegar a una solución que debe ser presentada explicitando hipótesis y aproximaciones.
- Introducir cambios en los métodos y los procesos del ámbito de conocimiento para dar respuestas innovadoras a las necesidades y demandas de la sociedad.
- Planear y realizar, usando los métodos apropiados, un estudio o investigación teórico e interpretar y presentar los resultados.
- Razonar críticamente, poseer capacidad analítica, usar correctamente el lenguaje técnico, y elaborar argumentos lógicos.
- Realizar trabajos académicos de forma independiente usando bibliografía, especialmente en inglés, bases de datos y colaborando con otros profesionales.
- Trabajar autónomamente, usar la propia iniciativa, ser capaz de organizarse para alcanzar unos resultados, planear y ejecutar un proyecto.
- Trabajar en grupo, asumiendo responsabilidades compartidas e interaccionando profesional y constructivamente con otros con absoluto respeto a sus derechos.
- Usar las matemáticas para describir el mundo físico, seleccionando las herramientas apropiadas, construyendo modelos adecuados, interpretando resultados y comparando críticamente con la experimentación y la observación.

## Resultados de aprendizaje

1. Analizar la física de los sistemas atómicos de dos y tres niveles interaccionando con uno o dos campos láser, respectivamente.
2. Calcular, en la aproximación dipolar eléctrica y de la onda rotante, la dinámica de sistemas de dos y tres niveles en interacción con un campo clásico o cuántico.
3. Calcular la dinámica de la interacción de un sistema de dos niveles en interacción con un único modo del campo electromagnético.
4. Calcular los estados vestidos de un sistema de dos niveles en interacción con un campo electromagnético cuántico.
5. Comunicar eficazmente información compleja de forma clara y concisa, ya sea oralmente, por escrito o mediante TIC, y en presencia de público, tanto a audiencias especializadas como generales.
6. Deducir la fuerza dipolar de la luz y describir la presión de radiación.
7. Describir el concepto de coherencia espacial y temporal de la luz.
8. Describir el experimento de Hanbury-Brown and Twiss.
9. Describir el fenómeno de la emisión espontánea.
10. Describir las técnicas de control de la propagación de la luz y sus aplicaciones en memorias cuánticas.
11. Describir las técnicas de manipulación de los estados internos y externos de los átomos utilizando interacción luz-materia y sus aplicaciones a la ingeniería cuántica.
12. Explicar el codi deontològic, explícit o implícit, de l'àmbit de coneixement propi.
13. Formular las propiedades de los diferentes estados cuánticos del campo electromagnético.
14. Identificar situaciones que necesitan un cambio o mejora.
15. Modelizar la electrodinámica cuántica en cavidades.
16. Plantear y resolver las ecuaciones de evolución coherente de un sistema de dos niveles atómico en interacción con un campo láser utilizando la ecuación de Schrödinger.
17. Razonar críticamente, poseer capacidad analítica, usar correctamente el lenguaje técnico, y elaborar argumentos lógicos.
18. Realizar trabajos académicos de forma independiente usando bibliografía, especialmente en inglés, bases de datos y colaborando con otros profesionales.
19. Realizar un trabajo que relacione los conceptos de óptica cuántica estudiados con temas frontera actuales y presentar los resultados.
20. Resolver problemas de interacción luz-materia en teoría semicásica utilizando la técnica de la matriz densidad.
21. Trabajar autónomamente, usar la propia iniciativa, ser capaz de organizarse para alcanzar unos resultados, planear y ejecutar un proyecto.
22. Trabajar en grupo, asumiendo responsabilidades compartidas e interaccionando profesional y constructivamente con otros con absoluto respeto a sus derechos.

23. Utilizar las variables normales para describir el campo electromagnético y su cuantización.

## Contenido

### 1. Introducción

Introducción a la teoría clásica, semicásica y cuántica de la interacción luz-materia. Estructura atómica.

### 2. Teoría semicásica de la interacción luz-materia

Procesos básicos de interacción luz-materia. Ecuaciones de balance. Ecuación de Schrödinger. Átomo de dos niveles en la aproximación de la onda rotante. El desdoblamiento AC-Stark. Las oscilaciones de Rabi. El triplete de Mollow. El doblete de Autler-Townes. La fuerza dipolar. El formalismo de la matriz densidad para un átomo de dos niveles. Las ecuaciones de Bloch ópticas. Los estados vestidos. Pasaje rápido adiabático. El formalismo de la matriz densidad para un átomo de tres niveles. Captura coherente de la población. Transparencia inducida electromagnéticamente. Pasaje adiabático de población vía estimulación Raman.

### 3. Teoría cuántica de la interacción luz-materia

#### 3. 1. Descripción de la luz

Electrodinámica clásica. Cuantización del campo e.m. Estados cuánticos del campo e.m. libre. Estados de Fock. Estados del vacío de fotones. Estados coherentes. Estados comprimidos. Detección homodina. Coherencia óptica y experimento de Hanbury-Brown y Twiss. Función de Wigner y otras representaciones de los estados cuánticos de la luz.

#### 3. 2. Interacción luz-materia

Modelo de Jaynes-Cummings. El átomo vestido. Oscilaciones de Rabi cuánticas. Colapsos y resurgimientos. Electrodinámica cuántica en cavidades. Tratamiento de Weisskopf-Wigner de la emisión espontánea.

## Actividades formativas y Metodología

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
<b>Tipo: Dirigidas</b>			
Clases de problemas	16	0,64	1, 4, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 13, 15, 16, 20, 23
Clases teóricas	33	1,32	1, 4, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 13, 15, 16, 20, 23
<b>Tipo: Supervisadas</b>			
Actividades para entregar	1,5	0,06	5, 18, 17, 21
Presentación oral	1,5	0,06	5, 19, 18, 17, 21, 22
<b>Tipo: Autónomas</b>			
Preparación y estudio de los fundamentos teóricos	46	1,84	1, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 19, 18, 13, 15, 17, 21, 22, 23
Resolución de problemas	46	1,84	4, 2, 3, 5, 19, 18, 16, 17, 20, 21, 22

En las clases de teoría se discutirán los contenidos de la asignatura siempre incentivando la participación del alumnado planteando preguntas.

En las clases de problemas se pretende que el alumnado participe de manera activa ya sea planteando dudas o participando en la resolución de ejercicios y cuestiones en el aula.

El trabajo autónomo del alumnado requerido en esta asignatura incluye tanto el estudio de los conceptos teóricos como la preparación y resolución de problemas.

La asignatura también presenta actividades supervisadas que consisten en la entrega de actividades y una presentación oral.

La presentación oral, que se realizará en grupo, consistirá en la preparación y presentación oral de un tema actual de la Óptica Cuántica.

El material, tanto para las clases de teoría como para las clases de problemas, será subministrado a través del campus virtual de la asignatura.

Nota: se reservarán 15 minutos de una clase dentro del calendario establecido por el centro o por la titulación para que el alumnado rellene las encuestas de evaluación de la actuación del profesorado y de evaluación de la asignatura o módulo.

## Evaluación

### Actividades de evaluación continuada

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Entrega de actividades	15%	0	0	5, 19, 18, 17, 21
Examen de recuperación primer parcial	35%	0	0	1, 4, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 13, 15, 16, 20, 23
Examen recuperación segundo parcial	35%	0	0	1, 4, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 13, 15, 16, 20, 23
Presentación oral	15%	0	0	5, 18, 12, 14, 17, 21, 22
Primer examen parcial	35%	3	0,12	1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 8, 16, 20
Segundo examen parcial	35%	3	0,12	4, 2, 9, 13, 15, 23

#### Evaluación continua

La nota final de la asignatura se obtendrá a partir de las siguientes proporciones:

- 35% : Nota del primer Parcial.
- 35% : Nota del segundo Parcial.
- 15% : Nota de las actividades a entregar.
- 15% : Nota de la presentación oral.

Para aplicar estos porcentajes es necesario que la nota (sobre 10) de cada uno de los parciales sea igual o superior a 3.5. En el caso que en alguno o en los dos parciales la nota sea inferior a 3.5, el/la estudiante se tendrá que presentar a la recuperación de la parte que tenga suspendida con nota inferior a 3.5. Si algún/a estudiante, aunque tenga la asignatura aprobada, quiere mejorar la nota puede presentarse a la recuperación

de la parte que quiera y la nota que se utilizará para aplicar los porcentajes será la obtenida en la recuperación. La nota de la asignatura será de "no evaluable" cuando el/la estudiante no se presente a ningún examen o bien se presente solo a uno de los dos exámenes parciales y no se presente a la recuperación.

#### Evaluación única

El alumnado que se haya acogido a la modalidad de evaluación única tendrá que realizar una prueba final que consistirá en un examen de los contenidos del primer parcial. Seguidamente, tendrá que hacer un examen de los contenidos del segundo parcial. En ambos casos tendrá que resolver una serie de ejercicios parecidos a los que se han trabajado en la sesión de problemas así como cuestiones más teóricas. Estas pruebas se realizarán el mismo día, hora y lugar que las pruebas del segundo parcial de la modalidad de evaluación continua.

La nota del/de la estudiante será la media ponderada de las dos actividades anteriores, donde cada examen supondrá el 42.5% de la nota, y de la nota de la presentación oral, que habrá realizado durante el curso en el día establecido para todo el alumnado, y que representa el 15% de la nota.

Si la nota de cada una de las pruebas finales no llega al 3.5 (sobre 10) o si la nota final de la asignatura no llega a 5 (sobre 10), el/la estudiante tiene otra oportunidad de superar la asignatura mediante un examen de recuperación que se celebrará el mismo día, hora y lugar que el examen de recuperación de la modalidad de evaluación continua. En esta prueba se podrá recuperar el 85% de la nota, correspondiente a las pruebas finales. La presentación oral no es recuperable.

#### Uso de la IA

Para esta asignatura, se permite el uso de tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) exclusivamente en tareas de apoyo, como la búsqueda bibliográfica o de información, la corrección de textos o las traducciones. El estudiante tendrá que identificar claramente qué partes han sido generadas con esta tecnología, especificar las herramientas empleadas e incluir una reflexión crítica sobre cómo estas han influido en el proceso y el resultado final de la actividad. La no transparencia del uso de la IA en esta actividad evaluable se considerará falta de honestidad académica y puede comportar una penalización parcial o total en la nota de la actividad, o sanciones mayores en casos de gravedad.

## Bibliografía

- Daniel A. Steck, *Quantum and Atom Optics* (2007); Oregon Center for Optics and Department of Physics. Oregon University  
<http://atomoptics.uoregon.edu/~dsteck/teaching/quantum-optics/quantum-optics-notes.pdf>
- P. Meystre and M. Sargent, *Elements of Quantum Optics*, Springer-Verlag, 4th edition, 2007.
- M. O. Scully and M.S. Zubairy, *Quantum Optics*, Cambridge U. P., 1997.
- D. F. Walls and G.J. Milburn, *Quantum Optics*, Springer-Verlag, 2nd edition, 2008.
- C. C. Gerry and P. Knight, *Introductory Quantum Optics*, Cambridge University Press, 2005.
- C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc and G. Grynberg, *Atom-Photon Interactions: Basic processes and applications*. John Wiley & Sons, 1998.
- C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc and G. Grynberg, *Photons and Atoms: Introduction to Quantum Electrodynamics*. John Wiley & Sons, 1997.
- H. J. Metcalf and P. van der Straten, *Laser Cooling and Trapping*, Springer-Verlag, 1999.

- S. Haroche and J.M. Raimond. *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities and Photons*. Oxford University Press, 2006.
- J. M. Raimond, M. Brune and S. Haroche, *Reviews of Modern Physics* 73, 565 (2001).

## Software

No se requiere ningún software específico.

## Grupos e idiomas de la asignatura

La información proporcionada es provisional hasta el 30 de noviembre de 2025. A partir de esta fecha, podrá consultar el idioma de cada grupo a través de este [enlace](#). Para acceder a la información, será necesario introducir el CÓDIGO de la asignatura

Nombre	Grupo	Idioma	Semestre	Turno
(PAUL) Prácticas de aula	1	Inglés	primer cuatrimestre	mañana-mixto
(TE) Teoría	1	Inglés	primer cuatrimestre	mañana-mixto