Universitat Autònoma de Barcelona

2019/2020

Óptica Cuántica

Código: 100180
Créditos ECTS: 6

Titulación	Tipo	Curso	Semestre
2500097 Física	OT	4	1

Contacto

Nombre: Verónica Ahufinger Breto
Correo electrónico: Veronica.Ahufinger@uab.cat

Uso de idiomas

Lengua vehicular mayoritaria: inglés (eng)
Algún grupo íntegramente en inglés: Sí
Algún grupo íntegramente en catalán: No
Algún grupo íntegramente en español: No

Equipo docente

Jordi Mompart Penina

Prerequisitos

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

Objetivos y contextualización

El objetivo de esta asignatura es proporcionar al estudiante 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 semiclásica 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

- 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.
- Desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.
- Desarrollar un pensamiento y un razonamiento crítico y saber comunicarlos de manera efectiva, tanto en las lenguas propias como en una tercera lengua.
- 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.
- Generar propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.

- 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.
- Respetar la diversidad y pluralidad de ideas, personas y situaciones.
- 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 la dinámica de la interacción de un sistema de dos niveles en interacción con un único modo del campo electromagnético.
3. Calcular los estados vestidos de un sistema de dos niveles en interacción con un campo electromagnético cuántico.
4. 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.
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. Desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.
8. Desarrollar un pensamiento y un razonamiento crítico y saber comunicarlos de manera efectiva, tanto en las lenguas propias como en una tercera lengua.
9. Describir el concepto de coherencia espacial y temporal de la luz.
10. Describir el experimento de Hanbury-Brown and Twiss.
11. Describir el fenómeno de la emisión espontánea.
12. Describir las técnicas de control de la propagación de la luz y sus aplicaciones en memorias cuánticas.
13. 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.
14. Formular las propiedades de los diferentes estados cuánticos del campo electromagnético.
15. Generar propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.
16. Modelizar la electrodinámica cuántica en cavidades.
17. 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.
18. Razonar críticamente, poseer capacidad analítica, usar correctamente el lenguaje técnico, y elaborar argumentos lógicos.
19. Realizar trabajos académicos de forma independiente usando bibliografía, especialmente en inglés, bases de datos y colaborando con otros profesionales.
20. Realizar un trabajo que relacione los conceptos de óptica cuántica estudiados con temas frontera actuales y presentar los resultados.
21. Resolver problemas de interacción luz-materia en teoría semiclásica utilizando la técnica de la matriz densidad.
22. Respetar la diversidad y pluralidad de ideas, personas y situaciones.
23. Trabajar autónomamente, usar la propia iniciativa, ser capaz de organizarse para alcanzar unos resultados, planear y ejecutar un proyecto.
24. Trabajar en grupo, asumiendo responsabilidades compartidas e interaccionando profesional y constructivamente con otros con absoluto respeto a sus derechos.
25. Utilizar las variables normales para describir el campo electromagnético y su cuantización.

Contenido

1. Introducción

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

2. Teoría semiclásica 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. Reglas de selección. 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: átomos de dos y 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. Coherencia óptica y experimento de Hanbury-Brown y Twiss. Función de Wigner. Divisores de haz e interferómetros.

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 espontanea.

Metodología

Las clases de teoría serán clases magistrales donde se discutirán los contenidos de la asignatura siempre incentivando la participación del estudiante planteando preguntas.

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

El trabajo autónomo del estudiante 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 traves del campus virtual de la asignatura.

Actividades

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Tipo: Dirigidas			
Clases de problemas	16	0,64	1, 3, 2, 4, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 21, 25
Clases teóricas	33	1,32	1, 3, 2, 4, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 21, 25
Tipo: Supervisadas			

Actividades para entregar	1,5	0,06	5, 7, 8, 19, 15, 18, 22, 23
Presentación oral	1,5	0,06	5, 7, 8, 20, 19, 15, 18, 22, 23, 24
Tipo: Autónomas			
Preparación y estudio de los fundamentos teóricos	46	1,84	1, 5, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 7, 8, 20, 19, 14, 15, 16, 18, 22, 23, 24, 25
Resolución de problemas	46	1,84	3, 2, 4, 5, 7, 8, 20, 19, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 24

Evaluación

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 estudiante se tendrá que presentar a la recuperación de la parte que tenga suspendida con nota inferior a 3,5. Si algún 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 avaluable" cuando el estudiante no se presente a ningún examen o bien se presente solo a uno de los dos exámenes parciales.

Actividades de evaluación

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Entrega de actividades	15%	0	0	5, 7, 8, 20, 19, 15, 18, 22, 23
Examen de recuperación primer parcial	35%	0	0	1, 3, 2, 4, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 21, 25
Examen recuperación segundo parcial	35%	0	0	1, 3, 2, 4, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 21, 25
Presentación oral	15%	0	0	5, 7, 8, 19, 15, 18, 22, 23, 24
Primer examen parcial	35%	3	0,12	1, 2, 4, 6, 9, 11, 10, 12, 13, 17, 21
Segundo examen parcial	35%	3	0,12	3, 4, 11, 14, 16, 25

Bibliografía

- En la web:

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

- Bibliografía básica

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.

- Bibliografía avanzada

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).