

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Fundamentos cuánticos	Física cuántica	3º	1º y 2º	12	Obligatoria
PROFESORES <sup>(1)</sup>			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS <sup>(1)</sup>		
<b>Teoría y problemas (1º semestre):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grupo A: M. Cruz Boscá Díaz-Pintado</li> <li>Grupo B: Elvira Romera Gutiérrez</li> </ul> <b>Teoría y problemas (2º semestre):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grupo A: Enrique Buendía Ávila</li> <li>Grupo B: Fernando Arias de Saavedra Alías</li> </ul> <b>Laboratorio:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Manuel Jesús Gutiérrez Torres</li> <li>Raúl Rica Alarcón</li> <li>Daniel Rodríguez Rubiales</li> <li>Lorenzo Luis Salcedo Moreno</li> <li>Fernando Arias de Saavedra Alías</li> <li>Elvira Romera Gutiérrez</li> <li>Ignacio Luis Ruiz Simó</li> </ul>			<a href="http://www.ugr.es/~famn/web/?Inicio:Tutor%EDas">http://www.ugr.es/~famn/web/?Inicio:Tutor%EDas</a>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>María Cruz Boscá Díaz-Pintado Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho 127. Correo electrónico: <a href="mailto:bosca@ugr.es">bosca@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -primer semestre: martes de 9h. a 11h.; martes y miércoles de 16.30h. a 18.30h. -segundo semestre: martes y miércoles, de 9h. a 12h.</li> <li>Elvira Romera Gutiérrez Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho 140. Correo electrónico: <a href="mailto:eromera@ugr.es">eromera@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -primer semestre: lunes, martes y miércoles de 9 a 11. -segundo semestre: lunes, martes y miércoles de 11 a 13</li> <li>Enrique Buendía Ávila Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho 142. Correo electrónico: <a href="mailto:buendia@ugr.es">buendia@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: lunes y viernes de 11 a 13.  <ul style="list-style-type: none"> <li>Lorenzo Luis Salcedo Moreno</li> </ul> </li> </ul>		

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/))

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernando Arias de Saavedra Alías Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho 128. Correo electrónico: <a href="mailto:arias@ugr.es">arias@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -primer semestre: lunes y miércoles de 11 a 13 y jueves de 17 a 19. -segundo semestre: lunes de 17 a 19, jueves de 17 a 20 y viernes de 12 a 13.</li> <li>• Manuel Jesús Gutiérrez Torres Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Laboratorio de Trampas de Iones. Correo electrónico: <a href="mailto:mjgutierrez@ugr.es">mjgutierrez@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: martes, miércoles y jueves de 17 a 19.</li> <li>• Raúl Rica Alarcón Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho B2. Correo electrónico: <a href="mailto:rul@ugr.es">rul@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: lunes, miércoles y viernes de 16 a 18.</li> </ul>	<p>Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear Sección de Físicas. Despacho 135. Correo electrónico: <a href="mailto:salcedo@ugr.es">salcedo@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: lunes y martes de 17 a 19 y viernes de 11 a 13.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daniel Rodríguez Rubiales Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear Sección de Físicas. Despacho 136. Correo electrónico: <a href="mailto:danielrodriguez@ugr.es">danielrodriguez@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: lunes y miércoles de 11.30 a 13.30 y martes de 16 a 18.</li> <li>• Ignacio Luis Ruiz Simó Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear Sección Físicas. Despacho 126. Correo electrónico: <a href="mailto:ruizsig@ugr.es">ruizsig@ugr.es</a> Tutorías (en su despacho): -ambos semestres: martes, miércoles y viernes de 16 a 18.</li> </ul>
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE	OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado en Física</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado en Química</li> <li>• Grado en Matemáticas</li> </ul>
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es recomendable y conveniente haber superado los módulos de Fundamentos de Física, Métodos Matemáticos, Álgebra Lineal y Geometría, Análisis Matemático, Mecánica y Ondas, y la asignatura Métodos Numéricos y Simulación.</li> </ul>	
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orígenes de la Física Cuántica. La función de onda y la interpretación de Copenhague.</li> <li>• La ecuación de Schrödinger; caso de la ecuación independiente del tiempo.</li> <li>• Estudio de problemas en una dimensión.</li> <li>• Momento angular. Problemas tridimensionales con potenciales centrales.</li> <li>• Métodos aproximados para estados estacionarios.</li> <li>• Técnicas experimentales de Física Cuántica.</li> </ul>	
COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS	
<p><b>Transversales:</b></p>	



- CT1 Capacidad de análisis y síntesis.
- CT2 Capacidad de organización y planificación.
- CT3 Comunicación oral y/o escrita.
- CT5 Capacidad de gestión de la información
- CT6 Resolución de problemas.
- CT8 Razonamiento crítico.
- CT9 Aprendizaje autónomo.

**Específicas:**

- CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.
- CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno
- CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.
- CE7: Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
- CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

-Que el alumno llegue a saber y entender:

- Las bases teóricas cuánticas de la física moderna.
- La estructura de la teoría cuántica, su soporte experimental y la fenomenología que comprende.
- Las escalas y órdenes de magnitud de los fenómenos físicos.

-Que el alumno sea capaz de:

- Resolver los problemas planteados, aplicando los métodos matemáticos y numéricos requeridos.
- Aprender lo esencial de un proceso o fenómeno físico y establecer un modelo de aplicación al mismo, desarrollando las aproximaciones pertinentes a fin de reducir el problema hasta un nivel tratable.
- Iniciarse en nuevos campos a través del estudio independiente.
- Adquirir un dominio de la disciplina que le permita modelar y entender las características esenciales de la dinámica de sistemas microscópicos.
- Desarrollar un pensamiento crítico que le permita construir y contrastar modelos físicos, al incorporar nuevos datos experimentales a los modelos adecuados disponibles, revisando su validez y sugiriendo cambios con el objeto de mejorar la concordancia de los modelos con los datos.



**TEMARIO TEÓRICO:**

**I. FENOMENOLOGÍA BÁSICA: Antigua Física Cuántica.**

1. Radiación y Materia: situación en Física a finales del siglo XIX. Radiación del cuerpo negro: teoría clásica y Postulado de Planck.
2. Carácter corpuscular de la radiación: Efecto fotoeléctrico. Rayos catódicos. Rayos X. Difusión Compton.
3. Modelos atómicos primitivos: Modelo de Rutherford. Modelo de Bohr. Experimento de Franck-Hertz. Modelo de Bohr-Sommerfeld: reglas de cuantización. Efecto Zeeman.
4. Carácter ondulatorio de la materia: Ondas de materia: Postulado de De Broglie. Confirmación experimental: Experimento de Davisson-Germer.
5. Dualidad onda-corpúsculo. Experimento de Stern-Gerlach.

**II. LA FUNCIÓN DE ONDA Y LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER:**

1. La función de onda  $\psi$ , su ecuación y su interpretación probabilística. Paquetes de onda. Principio de indeterminación.
2. La ecuación de Schrödinger y la conservación de la probabilidad. Representaciones de posiciones y momentos. Valores esperados. Teorema de Ehrenfest.
3. La ecuación de autovalores de la energía o ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo. Cuantización de la energía. Evolución temporal de los estados.

**III. CASOS MONODIMENSIONALES:**

1. Procesos de difusión: Potencial escalón. Barrera de potencial. Coeficientes de reflexión y transmisión. Efecto túnel.
2. Estados ligados: Pozos cuadrados. Pozo de oscilador armónico.
3. Potenciales con deltas. Potenciales periódicos.

**IV.- MOMENTO ANGULAR.**

1. Momento angular orbital y rotaciones espaciales. Armónicos esféricos.
2. Teoría general de momento angular. Representación matricial de operadores de momento angular. Autovalores y autovectores.
3. El espín del electrón. Experimento de Stern-Gerlach.
4. Composición de momentos angulares. Coeficientes de Clebsch-Gordan. Momento angular total.

**V.- PROBLEMAS TRIDIMENSIONALES.**

1. Potenciales separables en coordenadas cartesianas: partícula libre, pozos cuadrados tridimensionales. Oscilador armónico isótropo.
2. Sistemas de dos partículas con interacción central. Separación de coordenadas. Ecuación radial y degeneración. La partícula libre. Pozos cuadrados. Oscilador armónico isótropo.
3. El átomo hidrogenoide. Espectro de energías. Notación espectroscópica. Interacción espín-órbita.
4. Teoría de perturbaciones. Aplicaciones. Método variacional. Átomo de Helio.

## TEMARIO PRÁCTICO:

### Clases de problemas y seminarios o talleres:

- Comprenderán la resolución detallada de una selección de problemas asociados a cada uno de los temas, bien en grupos reducidos, bien en grupos más extensos.
- Los seminarios procurarán desarrollar temas de ampliación que, aun fuera del programa y su evaluación, lo complementen y estimulen el interés del alumnado por la materia.

### PRÁCTICAS DE LABORATORIO:

#### Radiación y Materia:

Práctica 1. Relación carga/masa del electrón.  
Práctica 2. Radiación del cuerpo negro.

#### Ondas y corpúsculos:

Práctica 3. Efecto fotoeléctrico.  
Práctica 4. Difracción de electrones.

#### Cuantización de la energía:

Práctica 5. Espectros atómicos.  
Práctica 6. Experiencia de Franck-Hertz.

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

#### -Teoría:

- B.H. Bransden and C.J. Joachain, "Quantum Mechanics"; 2<sup>nd</sup> ed., Pearson; Dorchester, 2000.
- A. Galindo y P. Pascual, "Mecánica Cuántica"; Eudema; Madrid, 1989 (texto avanzado).
- S. Gasiorowicz, "Quantum Physics"; 3<sup>o</sup> ed., Wiley; 2003.
- L. D. Landau y E. M. Lifshitz, "Curso de Física Teórica. Vol. 3. Mecánica Cuántica (Teoría no-relativista)"; Reverté; Barcelona, 1978.
- A. Messiah, "Mecánica Cuántica"; Tecnos; Madrid, 1973 (texto avanzado).
- R. W. Robinett, "Quantum Mechanics: Classical Results, Modern Systems, and Visualized Examples"; 2<sup>nd</sup> ed., Oxford Univ. Press; 2006.
- A. I. M. Rae, "Quantum Mechanics"; 5th. ed., Taylor & Francis; 2007.
- C. Sánchez del Río (coordinador), "Física Cuántica"; Eudema; Madrid, 1991.

#### -Problemas:

- A.Z. Capri, "Problems & Solutions in Nonrelativistic Quantum Mechanics"; World Scientific; 2002.
- F. Constantinescu & E. Magyari, "Problems in Quantum Mechanics"; Pergamon Press; 1971.
- A. Galindo y P. Pascual, "Problemas de Mecánica Cuántica"; Eudema; Madrid, 1989.
- Y.K. Lim, "Problems and Solutions in Quantum Mechanics"; World Scientific.
- Y. Peleg, R. Pnini and E. Zaarur, "Schaum's Outline of Theory and Problems of Quantum Mechanics"; McGraw-Hill; 1998.



#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- D. Bohm, "Quantum Theory"; Dover; New York, 1989.
- S- Brandt y H. D. Dahmen, H.D., "The picture book of quantum mechanics"; Wiley; 1985.
- A.Z. Capri, "Nonrelativistic Quantum Mechanics"; 3ª ed., World Scientific; 2002.
- P. A. M. Dirac, "The Principles of Quantum Mechanics"; Oxford Univ. Press; Oxford, 1958.
- R. Fernández Álvarez-Estrada y J. L Sánchez-Gómez, "100 problemas de Física Cuántica"; Alianza Editorial; Madrid, 1996.
- R.P. Feynman, R.B. Leighton and M. Sands, "The Feynman Lectures on Physics. Vol. III. Mecánica Cuántica" (edic. bilingüe inglés-español); Fondo Educativo Interamericano; 1971.
- S. Flügge, "Practical Quantum Mechanics"; 2ª ed., Springer; 1998.
- D.J. Griffiths, "Introduction to Quantum Mechanics"; 2ª ed., Pearson Prentice Hall; 2004.
- C. S. Johnson y L. G. Pedersen, "Problems and solutions in Quantum Chemistry and Physics"; Dover; New York, 1986.
- F. Mandl, "Quantum Mechanics"; Wiley; 2013.
- P. Pereyra Padilla, "Fundamentos de Física Cuántica"; Reverté; 2011.
- J. Sánchez Guillén y M. A. Braun, "Física cuántica"; Alianza Univ.; 1993.
- L. I. Schiff, "Quantum Mechanics"; 3ª ed., McGraw; 1968.
- G. L. Squires, "Problems in Quantum Mechanics with solutions"; Bangalore Univ. Press; 1997.
- Ta-You Wu, "Quantum Mechanics"; World Scientific; 1986.
- B. Thaller, "Visual Quantum Mechanics"; Springer; 2000
- F. J. Yndurain Muñoz, "Mecánica Cuántica"; 2ª ed., Ariel; 2003.

#### ENLACES RECOMENDADOS

- Cursos en el MIT: <http://ocw.mit.edu/courses/physics/>
- Real Sociedad Española de Física: <http://www.rsef.org/>
- Web Física Cuántica: <http://www.fisicacuantica.es>
- Web general Física Cuántica en la Red: <http://www.ugr.es/~bosca/WebFCenRed/>
- Datos en NIST: <http://www.nist.gov/pml/data/index.cfm>
- Física en la UGR, Comisión Docente de Física: <http://grados.ugr.es/fisica/>

#### METODOLOGÍA DOCENTE

##### Clases de teoría:

- Sesiones en las que el profesor explicará los contenidos teóricos fundamentales de cada tema y su importancia en el contexto de la materia.

##### Clases de problemas:

- Sesiones en las que el profesor resolverá ejercicios y problemas sobre los contenidos teóricos trabajados en cada tema.

**Seminarios y/o exposición de trabajos**, que pueden incluir:



- Sesiones en las que los alumnos, bajo la supervisión del profesor, expongan la resolución de trabajos y ejercicios, de forma oral o escrita, previamente propuestos.
- Seminarios donde se discutirán aspectos específicos del temario de especial relevancia o interés.
- Seminarios de asistencia voluntaria donde se discutirán aspectos complementarios de la materia.

**Laboratorio:**

- Sesiones prácticas de laboratorio, en las que los alumnos realizarán experimentos en grupos reducidos y supervisados por el profesor correspondiente, cuyo fin es capacitarlos para que:
  - comprendan las bases experimentales de la Física Cuántica.
  - conozcan los principios, técnicas e instrumentos de medida relacionados con algunos fenómenos de interés en Física Cuántica.

**EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)**

- La evaluación se realizará principalmente mediante exámenes; también se considerará, en su caso:
  - la realización de problemas y trabajos propuestos para resolver individualmente, por medio de los cuales los alumnos habrán de demostrar los conocimientos adquiridos y su comprensión de los mismos.
  - la participación activa en debates y seminarios; la iniciativa y calidad del trabajo individual desarrollado y de las exposiciones de los trabajos de teoría y problemas.
  - el trabajo realizado en el laboratorio, incluyendo tanto la participación y desarrollo de las prácticas en como la memoria escrita y el examen específico relativo a dichas prácticas.
- Se realizarán como mínimo dos exámenes; cada examen parcial semestral aportará un máximo del 45% de la nota final; los trabajos y /o seminarios, en su caso, un máximo del 5% de la nota final.
- La superación de la asignatura no se logrará sin un conocimiento uniforme y equilibrado de toda la materia. En particular, requerirá realizar y aprobar las prácticas de la misma, cuya calificación aportará el 10% de la nota final.

**DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA “NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA”**

- La evaluación única final se realizará en un solo acto académico e incluirá:
  - una prueba escrita conteniendo cuestiones de teoría y problemas referentes a todo el programa oficial de la asignatura.
  - una prueba escrita que versará sobre las prácticas de laboratorio.
  - la realización de una práctica en el laboratorio, indicada por el profesor de entre las que figuran en el programa, y en la que el alumno deberá acreditar que ha adquirido la totalidad de las competencias descritas en la Guía Docente de la asignatura.

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

