

## PROGRAMA DE CURSO

### INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DEL SÓLIDO

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Física (DFI)					
Nombre del curso	Introducción a la física del sólido	Código	FI4101	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Introduction to solid state physics</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	FI4001: Mecánica cuántica, FI3106: Electrodinámica					

#### B. Propósito del curso:

La física del estado sólido es uno de los pilares de las revoluciones tecnológicas que han transformado nuestra era. Sobre ella se han construido una variedad de conceptos, transversales a toda la física y a la consiguiente comprensión de los fenómenos. Por estos motivos, el estudio de la física del sólido se presenta como una gran oportunidad para poner en práctica la gran diversidad de herramientas que se han adquirido a través de la licenciatura.

Este curso permite que los y las estudiantes demuestren la capacidad para usar de manera integrada las herramientas aprendidas durante su formación para caracterizar y describir los fenómenos de la física del sólido. El curso considera herramientas teóricas y fundamentos teóricos de técnicas experimentales que están detrás, abarcando aspectos de modelamiento, permitiendo una metodología, donde a partir de problemas que se plantean, los y las estudiantes se aproximan a las materias de trabajo para interpretar y explicar fenómenos asociados al estado condensado de la materia, mediante un trabajo riguroso. Este proceso de aprendizaje es acompañado por el cuerpo docente como mediador para aclarar y resolver dudas.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Aplicar los conceptos básicos de la física para la descripción y modelamiento de fenómenos en las diversas áreas de la disciplina.

CE2: Formular y resolver ecuaciones que permiten describir y predecir el comportamiento de sistemas físicos, utilizando herramientas matemáticas y/o numéricas.

CE3: Discriminar límites de aplicabilidad de las distintas teorías de la física.

CE4: Evaluar la relevancia de los distintos factores que intervienen en la descripción de un fenómeno físico.

**CG3: Compromiso ético**

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

**CG4: Trabajo en equipo**

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

**C. Resultados de aprendizaje:**

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1, CE2, CE3, CE4	RA1: Interpreta el estado condensado de la materia como el resultado de la cooperación entre muchos componentes individuales con el propósito de predecir fenómenos colectivos emergentes (superconductividad, transición metal-aislante, entre otros).
CE3, CE4	RA2: Identifica y evalúa una variedad de técnicas experimentales, considerando sus ventajas y limitaciones para estudiar las propiedades de los sólidos y validar o refutar predicciones.
CE1, CE2, CE3, CE4	RA3: Aplica teorías, modelos y conceptos que permiten analizar e interpretar resultados experimentales para comprender de manera unificada los diversos comportamientos del sólido.
CE1, CE2, CE3, CE4	RA4: Formula cuantitativamente modelos sobre las relaciones básicas requeridas en la descripción de las propiedades de un sólido (e.g. electrónicas, mecánicas, térmicas, magnéticas, etc.) para predecir su comportamiento ante perturbaciones externas.
CE3, CE4	RA5: Determina la relevancia de los diversos fenómenos y/o interacciones que intervienen en diversas situaciones para permitir, en base a la evaluación de su importancia relativa, simplificar y así modelar los aspectos esenciales.

Competencias genéricas	Resultado de aprendizaje
CG3, CG4	RA6: Discute, en un marco de tolerancia, la respuesta a problemas que se resuelven en el contexto de la física del sólido, contrastando reflexivamente lo aprendido durante el curso con sus expectativas o hipótesis basadas en conocimientos previos.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA3, RA4, RA5	Teoría de Drude, y teoría de Sommerfeld para los metales	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Teoría de Drude para los metales. 1.2. Teoría de Sommerfeld para los metales.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Describe las propiedades de los metales, en términos del modelo de Drude, considerando las limitaciones más importantes de esta teoría.</li> <li>Calcula en casos simples las propiedades más importantes de los metales los que son descritos como un gas de electrones no interactuantes.</li> <li>Determina las limitaciones más importantes de cada teoría.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[3] Cap. 1,2. [1] Cap. 16.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA3, RA4, RA5	Propiedades estructurales de un cristal	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Estructura cristalina 2.1.1. Red de Bravais. 2.1.2. Red recíproca. 2.1.3. Clasificación de las redes de Bravais. 2.1.4. Defectos. 2.1.5. Nociones de enlace atómico. 2.1.6. Enlace cristalino. 2.2. Dispersión de ondas por cristales. 2.2.1. Condición de Laue, condición de Bragg. 2.2.2. Difracción de electrones, dispersión de neutrones, dispersión Raman.		El/la estudiante:  1. Determina las estructuras matemáticas necesarias para describir un sólido cristalino. 2. Explica el resultado de la interacción de diversos tipos de ondas con un cristal, en base a estructuras matemáticas. 3. Establece la relación entre las definiciones abstractas de red de Bravais y red recíproca, en base al objeto físico que las mismas describen.	
Bibliografía de la unidad		[2] Cap. 1,2,3. [1] Cap. 1,2,3.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA3, RA4, RA5	Electrones en un potencial periódico	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Teorema de Bloch. Demostraciones del teorema e interpretación de las soluciones. Límite de la “red vacía” (potencial periódico nulo) usando el teorema de Bloch. 3.2. Aproximación de electrones cuasi-libres. Concepto de brecha energética. 3.3. Aproximación de enlace fuerte para el cálculo de las bandas de energía en un cristal. Ejemplos de aplicación. 3.4. Dinámica de electrones en un cristal: aproximación semi-clásica. Derivación de las ecuaciones de movimiento semi-clásicas para paquetes de onda.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Utiliza el teorema de Bloch para comprender y explicar aspectos esenciales de la teoría de bandas de energía para los electrones en un cristal.</li> <li>Argumenta de manera fundada dónde se pueden encontrar los efectos más importantes de un potencial periódico débil y cuantifica dichas consecuencias mediante cálculos simples.</li> <li>Utiliza la aproximación de enlace fuerte para describir la estructura de bandas de cristales.</li> <li>Resuelve para casos simples, las ecuaciones de un electrón en términos de paquetes de onda a los que se les puede asignar posición y velocidad.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[3] Cap. 7. [1] Cap. 7, 8. [5] Secciones 5.1 a 5.5. [4] Cap. 11.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA4, RA5	De los semiconductores a los aislantes topológicos	2,5 semanas
<b>Contenidos</b>		<b>Indicador de logro</b>	
4.1. Semiconductores, fenomenología. 4.2. Semiconductores homogéneos. Semiconductores inhomogéneos. 4.3. Fases geométricas: fase de Berry y su aplicación a los electrones en un potencial periódico. Velocidad anómala. 4.4. Efecto Hall cuántico entero. 4.5. Aislantes topológicos: generalidades.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analiza la fenomenología que está detrás de los semiconductores.</li> <li>2. Compara un semiconductor de un metal, un aislante y un aislante topológico, explicando las características más sobresalientes que los distinguen.</li> <li>3. Deduce la ecuación del diodo ideal.</li> <li>4. Aplica el concepto de fase de Berry al movimiento de los electrones en un cristal.</li> </ol>	
<b>Bibliografía de la unidad</b>		[1] Cap. 19 [4] Cap. 17 y 18 [5] Secciones 5.6 y 12.2.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA1, RA4, RA5	Propiedades mecánicas	2 semanas
<b>Contenidos</b>		<b>Indicador de logro</b>	
5.1. Teoría clásica del cristal armónico. 5.2. Teoría cuántica del cristal armónico. Fonones. 5.3. Energía de cohesión. 5.4. Elasticidad.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analiza la estructura de equilibrio que tienen los cristales, comprendiendo las razones por las que diversos cristales tienen una estructura de equilibrio determinada y no otra.</li> <li>2. Distingue y analiza los casos molecular, iónico, covalente, metálico, y de enlace de hidrógeno.</li> <li>3. Resuelve en casos simples, las ecuaciones que gobiernan la deformación de los sólidos para grandes longitudes de onda.</li> <li>4. Calcula los efectos más sobresalientes, considerando que se deben al hecho que lo que se deforma en un sólido no es un continuo, sino un sistema discreto.</li> </ol>	

Bibliografía de la unidad	[1] Cap. 11, 12, 13. [3] Cap. 22 y 23. [2] Cap. 4.
---------------------------	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5	Interacciones entre electrones y fonones y superconductividad.	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Transición de Peierls. Aplicación al caso del poliacetileno, modelo de Su-Schrieffer-Heeger. La interacción electrón-fonón como mecanismo de la transición. Temperatura crítica. 6.2. Fenomenología de la superconductividad. 6.3. Teoría de London de la superconductividad. 6.4. Inestabilidad del estado metálico: Formación de pares de Cooper. Elementos de la teoría BCS.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Interpreta y explica cómo son las transiciones metal-aislante o metal-superconductor en términos de inestabilidades ante perturbaciones que permitan reducir la energía del estado fundamental electrónico.</li> <li>Explica qué es lo que se conoce como un “superconductor”, considerando los elementos más simples que permiten comprender el comportamiento superconductor en algunos casos, así como la ausencia del mismo en otros casos.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[1] Sec. 11.5, Cap. 27. [2] Cap. 10.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
7	RA1, RA2, RA3, RA4 RA5	Propiedades magnéticas	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
7.1. Magnetismo de átomos: diamagnetismo, paramagnetismo. 7.2. Orden magnético espontáneo: Ferromagnetismo, Anti-ferromagnetismo. Teorías de campo medio. 7.3. Micro-magnetismo. Paredes de dominio. 7.4. Ondas de spin, magnones.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Analiza el origen microscópico-cuántico del magnetismo, distinguiendo diferentes tipos de magnetismo.</li> <li>Reconoce y analiza diferentes escalas de manifestación del magnetismo, y modelos asociados.</li> <li>Calcula la dinámica magnética lineal.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[2] Cap. 8. [1] Cap. 24, 25. [4] Cap. 19, 20, 21, 22.	

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clases expositivas apoyadas por medios audio visuales.
- Resolución de problemas a través de tareas y ejercicios.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera las siguientes instancias de evaluación:

1. Controles escritos (2 a 3).
2. Tareas máximo de tres problemas (semanales o quincenales).
3. Presentaciones orales individuales o en grupos.
4. Examen.

### G. Recursos bibliográficos:

#### Bibliografía obligatoria:

- (1) Condensed matter physics (2nd edition), Michael P. Marder, Wiley, New York (2015) ISBN:978-0470617984.
- (2) Solid-state physics: an introduction to the principles of materials science (4th edition), Harald Ibach y Hans Luth, Springer-Verlag, Berlin, New York (2009) ISBN: 978-3540938033 (New York). Este texto indica el nivel del curso.
- (3) Solid state physics, Neil W. Ashcroft y N. David Mermin, Saunders College Publishing, Philadelphia, (1976), ISBN: 0030493463
- (4) The Oxford Solid State Basics, Steven H Simon, 1st Edition, Oxford University Press 2013 ISBN 978-0-19-968077-1
- (5) Fundamentals of Condensed Matter Physics, Marvin L. Cohen y Steven Louie, Cambridge University Press 2016, ISBN 978-0521513319

#### Bibliografía complementaria:

- (6) Introduction to solid state physics, Charles Kittel, 8th Edition, John Wiley & Sons 2005 ISBN 0-471-41526-X
- (7) Modern condensed matter physics, Steven M. Girvin, Kun Yang, 1st Edition, Cambridge University Press 2019 ISBN 978-1-107-13739-4.

### H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera, 2021
Elaborado por:	Rodrigo Arias, Luis Foa Torres
Validado por:	Validación académico par: Víctor Fuenzalida Validación CTD del Departamento de Física
Revisado por:	Área de Gestión Curricular