

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НАНОСИСТЕМАХ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
1	4	144	16	32	0		60	0	Э
Итого	4	144	16	32	0	0	60	0	

АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина «Физика фазовых переходов в наносистемах» посвящена изучению физических основ фазовых переходов второго рода на примере перехода парамагнетик-ферромагнетик. В рамках курса приводится классификация веществ по магнитным свойствам, рассматривается метод среднего поля и его приложения к расчету магнитных характеристик, происходит первоначальное ознакомление с феноменологической теорией Гинзбурга-Ландау, затрагивается антиферромагнетизм.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения учебной дисциплины «Физика фазовых переходов в наносистемах» состоят в том, чтобы ввести студентов в круг понятий, представлений и моделей физических основ фазовых переходов второго рода на примере перехода парамагнетик-ферромагнетик в системе локальных магнитных моментов, метода среднего поля и путей его применения к расчету магнитных характеристик.

Задачи дисциплины:

- ознакомление студентов с понятием параметра порядка и его использование для описания фазовых переходов второго рода;
- приобретение студентами навыков расчета характеристик твердых тел с локальными магнитными моментами;
- ознакомление студентов с ферромагнитным и антиферромагнитным фазовыми переходами.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физика фазовых переходов в наносистемах» относится к дисциплинам по выбору. Изучение дисциплины базируется на компетенциях, сформированных у обучающихся в результате освоения дисциплин ООП подготовки бакалавра по направлению «Ядерные физика и технологии»; следующих прослушанных ранее курсах: Векторный и тензорный анализ, Теория функций комплексного переменного, Дифференциальные и интегральные уравнения, Теория вероятностей и математическая статистика, Обыкновенные дифференциальные уравнения, Квантовая механика, Статистическая физика. Основные положения курса «Физика фазовых переходов в наносистемах» должны/могут быть использованы при изучении дисциплин: Основы измерений в твердотельной наноэлектронике, Физика наносистем, Оптоэлектроника, Квантовая информатика и т.д. Также, знание материалов данной дисциплины необходимо при выполнении курсового и дипломного проектирования, научно-исследовательской работы, а также для практической работы выпускников по специальности

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и	ПК-1 [1] - способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать: современное состояние, тенденции и перспективы развития электроники, нанoeлектроники и смежных областей науки и техники. ; У-ПК-1[1] - Уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники, нанoeлектроники, физики конденсированных сред и других смежных областей науки и техники; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач в области электроники и нанoeлектроники

анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	устройств. Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	ПК-1.1 [1] - Способен применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния в самостоятельной научно-исследовательской работе в области электроники и нанoeлектроники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-1.1[1] - Знать основные сведения из физики конденсированного состояния, в особенности физики полупроводников, имеющие отношения к принципам функционирования приборов электроники и нанoeлектроники; У-ПК-1.1[1] - Уметь применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния в самостоятельной научно-исследовательской работе в области электроники и нанoeлектроники; В-ПК-1.1[1] - Владеть основными экспериментальными и теоретическими методами физики конденсированного состояния, используемым для исследования материалов и приборов электроники и нанoeлектроники
анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования.	ПК-7 [1] - способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	3-ПК-7[1] - Знать: современное состояние научно-технических проблем в области электроники и нанoeлектроники ; У-ПК-7[1] - Уметь: анализировать состояние научно-

	<p>Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>Основание: Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>технической проблемы путём изучения и анализа литературных и патентных источников.; В-ПК-7[1] - Владеть: навыками сбора научно-технической информации, необходимой для проведения исследований.</p>
--	--	---	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Фазовые переходы в магнитных системах	1-8		Т-8 (5), ДЗ-8 (20)	25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1,

							3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Ферромагнетизм и антиферромагнетизм	9-16		Т-16 (5), ДЗ-16 (20)	25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-7

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
ДЗ	Домашнее задание
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Фазовые переходы в магнитных системах	8	16	
1	Фазовые переходы в системе многих частиц Изменение свободной энергии при фазовых переходах. Классификация фазовых переходов.	Всего аудиторных часов		
		1	2	
		Онлайн		
2	Классификация веществ по магнитным свойствам Парамагнетики. Диамагнетики. Ферромагнетики. Сверхпроводники. Локальные магнитные моменты.	Всего аудиторных часов		
		1	2	
		Онлайн		
3	Магнитная восприимчивость системы невзаимодействующих магнитных моментов. Закон Кюри.	Всего аудиторных часов		
		1	2	
		Онлайн		
4 - 5	Энергия взаимодействия двух электронов в различных спиновых состояниях. Антисимметрия двухэлектронной волновой функции. Энергии кулоновского и обменного взаимодействия	Всего аудиторных часов		
		2	4	
		Онлайн		
6	Полная энергия взаимодействия системы локальных магнитных моментов. Изотропная и анизотропная модель Гейзенберга. Модель Изинга.	Всего аудиторных часов		
		1	2	
		Онлайн		
7 - 8	Приближение среднего поля для описания фазового перехода из парамагнитного в ферромагнитное состояние Модель Изинга с взаимодействием между ближайшими соседями в приближении среднего поля. Уравнение Кюри-Вейса.	Всего аудиторных часов		
		2	4	
		Онлайн		
9-16	Ферромагнетизм и антиферромагнетизм	8	16	
9 - 11	Теплоемкость и магнитная восприимчивость системы взаимодействующих магнитных моментов. Свободная энергия ферромагнетика в модели Изинга. Основное и возбужденное состояния. Точное решение одномерной модели Изинга. Отсутствие фазового перехода в одномерном случае.	Всего аудиторных часов		
		3	6	
		Онлайн		
12 - 13	Область применимости теории среднего поля	Всего аудиторных часов		

	Флуктуации и функция корреляции вблизи температуры фазового перехода. Влияние флуктуаций на теплоемкость и магнитную восприимчивость системы взаимодействующих магнитных моментов.	2	4	
		Онлайн		
14	Феноменологическая теория Гинзбурга-Ландау. Нарушение симметрии при фазовых переходах. Критические индексы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	
		Онлайн		
15 - 16	Основное и возбужденное состояния Магнитная восприимчивость и теплоемкость антиферромагнетика в модели Изинга. Сравнение характеристик ферромагнитного и антиферромагнитного фазовых переходов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1	1. Основные сведения из статистической физики. Обсуждение конкретных примеров различных фазовых переходов. 1. Основные сведения из статистической физики. Обсуждение конкретных примеров различных фазовых переходов.
2 - 3	2. Расчет величины магнитного момента изолированного атома. 2. Расчет величины магнитного момента изолированного атома.
4 - 5	3. Связь квантовой механики со статистикой. Общее выражение для температурного среднего физической величины. 3. Связь квантовой механики со статистикой. Общее выражение для температурного среднего физической величины.
6	4. Расчет зависимости обменного интеграла от расстояния между атомами. 4. Расчет зависимости обменного интеграла от расстояния

	между атомами.
7	5. Эффективное поле Вейсса. 5. Эффективное поле Вейсса.
8	6. Расчет теплоемкости и магнитной восприимчивости системы локальных магнитных моментов в окрестности температуры Кюри. 6. Расчет теплоемкости и магнитной восприимчивости системы локальных магнитных моментов в окрестности температуры Кюри.
9 - 10	7. Расчет щели в спектре возбуждений ферромагнетика в модели Изинга при наличии магнитного поля. 7. Расчет щели в спектре возбуждений ферромагнетика в модели Изинга при наличии магнитного поля.
11 - 12	8. Оценка флуктуационных вкладов в магнитную восприимчивость и теплоемкость парамагнетика. 8. Оценка флуктуационных вкладов в магнитную восприимчивость и теплоемкость парамагнетика.
13 - 14	9. Расчет температурной зависимости параметра порядка в теории Гинзбурга-Ландау. 9. Расчет температурной зависимости параметра порядка в теории Гинзбурга-Ландау.
15	10. Расчет температурной зависимости магнитной восприимчивости антиферромагнетика в окрестности температуры Нееля. 10. Расчет температурной зависимости магнитной восприимчивости антиферромагнетика в окрестности температуры Нееля.
16	11. Расчет температурной зависимости намагниченности антиферромагнетика. 11. Расчет температурной зависимости намагниченности антиферромагнетика.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины «Физика фазовых переходов в наносистемах» используются различные образовательные технологии – занятия проводятся в форме лекций и практических (семинарских) занятий. Для контроля усвоения студентом разделов данного курса и приема домашнего задания широко используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам, а так же выполнение домашнего задания.

При обсуждении тем лекционных и практических занятий используются следующие интерактивные формы обучения (16 часов): круглый стол (дискуссия), мозговой штурм (“брейншторм”), case-study (ситуационный анализ). При этом применяется презентативная форма подачи материала, обсуждаются последние научные достижения/публикации, в игровой форме рассказывается о работе с научной литературой.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	У-ПК-1	КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	В-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	У-ПК-7	КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16
	В-ПК-7	КИ-8, КИ-16, Т-8, ДЗ-8, Т-16, ДЗ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу
75-84		C	
70-74		D	
	4 – «хорошо»		

			излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 М37 Introduction to physics of second-order magnetic phase transitions : , Moscow: NRNU MEPhI, 2015
2. ЭИ М37 Introduction to physics of second-order magnetic phase transitions : , Moscow: NRNU MEPhI, 2015
3. 004 Б12 Алгоритмизация задач и структурирование программ : практическое пособие по программированию на языке Object Pascal в среде Delphi по программе учебного курса "Информатика" для бакалавриата, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. 621.039 С22 Введение в теорию переноса и физику защиты от ионизирующих излучений : учебного пособия для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Ф 80 Уравнения состояния вещества от идеального газа до кварк-глюонной плазмы : монография, Москва: Физматлит, 2012
2. ЭИ П 85 Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования : рекомендовано методсоветом по направлению, Москва: Физматлит, 2009

3. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Курс является достаточно трудоемким, требует активной самостоятельной работы и хорошей физико-математической подготовки, а также базовых навыков программирования. При возникновении трудностей с усваиванием основных идей курса, следует обратиться к дополнительной литературе или попросить помощи у преподавателя. Перед каждым занятием желательно прочитывать предыдущую лекцию и кратко формулировать для себя основные идеи и подходы, изложенные на ней.

Домашнее задание лучше выполнять равномерно в течение всего учебного семестра. Перед зачетом нужно выписать из лекций ответы на все вопросы, детально разобраться в них, при необходимости уточнить неясные места на консультации. После этого следует добиться твердого воспроизведения всех формул по памяти.

Аккуратное выполнение домашних заданий и систематическая проработка лекционного материала являются залогом успеха.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При изложении ключевых вопросов, касающихся магнитных свойств твердых тел, имеет смысл напомнить студентам основные положения квантовой механики и статистики.

В разделе о классификации веществ по магнитным свойствам можно сначала кратко рассказать о квантово-механическом подходе к описанию электронной структуры атома, чтобы стало понятно, откуда у отдельных атомов берутся магнитные моменты.

Изложение темы о невзаимодействующих магнитных моментах во внешнем магнитном поле лучше всего начать с обсуждения характеристик изолированного магнитного момента во внешнем поле, после чего обобщить полученные результаты на систему из произвольного количества невзаимодействующих моментов.

В разделе об обменном взаимодействии полезно сначала напомнить студентам известные им из квантовой механики правила работы со спиновыми состояниями одного и двух электронов.

При изложении метода среднего поля с методической точки зрения полезно сначала рассказать о модели молекулярного поля Вейсса.

Рассказывая о термодинамических характеристиках в модели Изинга, следует обязательно получать температурные зависимости этих характеристик в предельных случаях а) низкой температуры и б) температуры, близкой к точке Кюри.

Раздел о теории Гинзбурга-Ландау является ознакомительным, поэтому можно привести упрощенное изложение этой теории, без учета магнитного поля.

Рассказ об антиферромагнетизме лучше всего начать с того, что «на пальцах» объяснить энергетическую выгодность антиферромагнитного упорядочения магнитных моментов при отрицательной величине энергии обменного взаимодействия соседних моментов. Здесь следует также отметить значение типа кристаллической решетки для магнитного упорядочения (эффект фрустрации и т.д.).

Некоторые разделы курса можно несколько сократить, отдавая предпочтение физическому содержанию в ущерб математической строгости. Это касается, в частности, темы о точном решении одномерной модели Изинга.

На семинарах можно разбирать только те из заданных на дом задач, с которыми не справилось большинство студентов.

С целью повышения уровня усвоения студентами материала курса можно порекомендовать на каждом семинаре или на каждой лекции проводить тестовые опросы, состоящие из 10 вопросов по материалам предыдущих занятий. Для студентов это является стимулом готовиться к каждому занятию, хотя бы кратко повторяя уже пройденные темы.

Автор(ы):

Маслов Михаил Михайлович, к.ф.-м.н.