

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

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	3	108	16	32	0	24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Курс преподается с целью ознакомить студентов с основными магнитными явлениями, их физическим описанием и практическими применениями магнитных эффектов, а также научить их оценивать параметры, характеризующие магнетики.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе даются основные представления о квантовой природе магнетизма, классификации магнетиков – диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферриты, магнитномягкие и магнитножесткие магнитные материалы, рассматривается теория самопроизвольной намагниченности (модель Кюри-Вейсса и обменная теория, о переходе «пара-ферро» как о фазовом переходе второго рода, о спиновых волнах и квазичастицах – магнонах, о параметрах магнетиков – магнитной восприимчивости, теплоемкости, о магнонной, фононной и электронной ветвях энергетического спектра магнетиков,, нейтронографический метод исследования магнитной структуры ферромагнетиков, описываются магниторезонансные эффекты – ЭПР, ЯМР, ферромагнитный и ферроакустический резонанс, исследование фононного и магнонного энергетического спектра ферро- и антиферромагнетиков с помощью неупругого рассеяния нейтронов и фотонов. Изучается термодинамика магнетиков и обсуждается метод магнитного охлаждения для достижения сверхнизких температур, применение эффекта ядерного магнитного резонанса в медицине (ЯМР-томограф).

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: атомная физика, химия, квантовая механика, статистическая физика, теория поля, физика конденсированного состояния вещества, теоретическая физика твердого тела.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам для следующих областей профессиональной деятельности: исследования, разработки и технологии, направленные на создание и применение установок и систем в области конденсированного состояния вещества, методы и установки для исследования кристаллов и материалов, разработки материалов и магнитных систем для применения в физическом эксперименте и медицинских приборах.

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;	Код и наименование индикатора достижения
--	---------------------------	--	--

		Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	профессиональной компетенции
	инновационный;		
сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.	научно-технические и организационные решения	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ;</p> <p>У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;</p> <p>В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p>
сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки	научно-технические и организационные решения	ПК-22.3 [1] - Способен ориентироваться в основных фазовых переходах, основных теоретических подходах к их	З-ПК-22.3[1] - знать классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения

<p>исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>		<p>описанию и исследованию, основных экспериментальных фактах физики сверхпроводимости и криогенной техники, их применениях в экспериментальной технике и промышленности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>физики сверхпроводимости и криогенной техники ; У-ПК-22.3[1] - уметь предложить схему эксперимента для исследования фазовых переходов в современных материалах, применения современных сверхпроводящих материалов ; В-ПК-22.3[1] - владеть основными теоретическими моделями и экспериментальными фактами физики фазовых переходов и сверхпроводимости</p>
педагогический			
<p>проведение семинарских и лабораторных занятий со студентами по курсам из области физики конденсированного состояния вещества: физика твёрдого тела, физика полупроводников, наноструктур, низких температур, сверхпроводимости и взаимодействия излучения с веществом; проведение практикумов и лабораторных работ по учебным курсам, связанным с математическим моделированием в физике конденсированного состояния вещества; организация и проведение</p>	<p>занятия по профильным предметам в университете</p>	<p>ПК-22.1 [1] - Способен пользоваться основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, экспериментальными методами исследования структурных и электронных свойств, современными достижениями физики полупроводников и гетероструктур</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 01.003</p>	<p>З-ПК-22.1[1] - знать основные теоретические модели физики конденсированного состояния вещества, современные достижения физики полупроводников и гетероструктур ; У-ПК-22.1[1] - уметь сформулировать теоретическую и математическую модель для задачи физики твердого тела; В-ПК-22.1[1] - владеть экспериментальными методами исследования структурных и электронных свойств</p>

контрольных и самостоятельных работ, тестирований и других контрольных мероприятий по курсам из области физики конденсированного состояния вещества.			
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (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	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-12.1, У-ПК-12.1, В-ПК-12.1, 3-ПК-12.3, У-ПК-12.3, В-ПК-12.3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Раздел 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-12.1, У-ПК-12.1, В-ПК-12.1,

							3-ПК-12.3, У-ПК-12.3, В-ПК-12.3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-22.1, У-ПК-22.1, В-ПК-22.1, 3-ПК-22.3, У-ПК-22.3, В-ПК-22.3

* – 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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Раздел 1	8	16	0
1 - 2	Тема 1. Структура и магнитный момент электронных оболочек атома. Строение электронной оболочки атома. Приближение Рассела-Саундерса, правила Хунда. Терм основного состояния свободного атома. Полный механический и магнитный момент атома. Фактор Ланде.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Тема 2. Ион в кристаллическом поле. Влияние кристаллического поля на состояния d и f оболочек. Перестройка d-оболочки и замораживание ее орбитального момента. Заполнение t _{2g} и e _g состояний в промежуточном и сильном поле.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 3. Диамагнетизм. Магнитостатика и термодинамика немагнитных веществ. Диа- и парамагнитные диэлектрики и металлы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема 4. Парамагнетизм. Свойства веществ, содержащих невзаимодействующие магнитные ионы. Зависимость намагниченности от температуры и поля.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Тема 5. Обменное взаимодействие и магнитоупорядоченные среды. Природа обменного взаимодействия. Ферро- и антиферромагнетики. Температура фазового перехода в магнитоупорядоченное состояние. Спонтанная намагниченность. Критерий Стонера, РККИ взаимодействие в металлах.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Раздел 2	8	16	0
9 - 12	Тема 6. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Основные параметры ферромагнитного состояния. Феноменологическая теория ферромагнетизма и антиферромагнетизма - модели Кюри - Вейсса-Нееля. Обменная теория самопроизвольной намагниченности. Ферромагнитные металлы. Переход «пара – ферро» - фазовый переход второго рода.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 16	Тема 7. Доменная структура ферромагнетика. Энергия магнитной анизотропии и направление намагниченности в домене. Доменные стенки. Гистерезисная кривая намагничивания ферромагнетика: коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, насыщение, парапроцесс.. Техническая кривая намагниченности. Магнитный гистерезис. Мягкие магнитные материалы. Магнитножесткие материалы.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозна чение	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторские занятия в виде лекций и семинаров, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, изучении пройденного материала, подготовке к письменным тестам. Для того чтобы показать современное физическое состояние физики магнитных свойств твердых тел, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

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-22.1	З-ПК-22.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-22.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-22.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-22.3	З-ПК-22.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-22.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-22.3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-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	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	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»	F	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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Y91 Fundamentals of Semiconductors : Physics and Materials Properties, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010
2. ЭИ H99 Solid-State Physics : An Introduction to Principles of Materials Science, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009
3. ЭИ С 65 Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ Б 83 Полупроводник и ферромагнетик монооксид европия в спинтронике : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022

5. ЭИ Б 18 Физика конденсированного состояния : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
6. ЭИ М 80 Фрустрированные магнитные наноструктуры : , Москва: Физматлит, 2017
7. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
8. ЭИ К31 Современные проблемы физики конденсированного состояния : , В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: МИФИ, 2008
9. ЭИ К12 Теоретическая физика твердого тела : , Ю. М. Каган, В. Н. Собакин, С. В. Ивлиев, М.: МИФИ, 2009

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 83 Лекции по магнетизму : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2005
2. ЭИ А 76 Магнитные и электрические свойства сильнокоррелированных магнитных полупроводников с четырехспиновым взаимодействием и с орбитальным упорядочением : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2013
3. 539.1 С 95 Медицинская физика для начинающих: ЯМР и МРТ : , Москва-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2017
4. 538.9 П30 Основы физики конденсированного состояния : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2013
5. 539.1 О-75 Основы ядерного магнитного резонанса : учеб. пособие, Москва: Вузовский учебник, 2018
6. 543 В 75 Парамагнитные комплексы в спектроскопии ЯМР высокого разрешения : монография, Москва: URSS, 2014
7. 539.1 Я 34 Ядерный магнитный резонанс в структурных исследованиях : монография, Москва: КРАСАНД, 2017
8. 539.2 Г95 Физика твердого тела : учеб. пособие для техн. ун-тов, А.Г. Гуревич, СПб: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2004
9. 537 Р83 Процессы переключения в нелинейных кристаллах : , В. М. Рудяк, Москва: Наука, 1986
10. 53 И83 Квантовая физика : основные законы, И. Е. Иродов, М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004
11. 537 К78 Магнитная электроника : , Кравченко А.Ф., Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002
12. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель , М.: МедиаСтар, 2006

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

Одно из самых ярких проявлений макроскопических квантово-механических свойств магнетиков - ферромагнетизм. В современной физике твёрдого тела, в частности ферромагнетика (сюда же отнесём антиферромагнетики и ферриты) широко используется концепция квазичастиц, квантов коллективных осцилляторных движений атомов и ионов и магнитных моментов, связанных с ними. Эти квазичастицы - фононы и магноны.

Вы должны представлять себе ферромагнетик как идеальный строго периодический кристалл, наполненный идеальными или слабонеидеальными газами квазичастиц - фононов и магнонов. Отсюда и следует необходимость знания свойств газов при изучении физики твердого тела.

Студенты должны быть готовы участвовать во время лекции в работе по получению того или иного результата в интерактивном режиме при поддержке преподавателя, опираясь на свои знания.

Используемая система единиц – СГС (Гауссова). Желательно как следует её вспомнить, особенно электрические и магнитные единицы.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Предполагается, что студенты знакомы с содержанием основных разделов курсов «Высшая математика», «Общая физика», «Квантовая механика», «Атомная физика».

Необходимо подчёркивать, что освоение курса подразумевает знания квантовой механики и статистической физики (классической и квантовой). Напоминать, что такое квантовая статистическая функция распределения Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна.

Обращать внимание, что магнетизм – это сугубо квантово-механическое явление, поэтому необходимо хорошо знать квантовую механику.

Используемая система единиц – СГС (Гауссова).

Автор(ы):

Маслов Владимир Алексеевич, к.ф.-м.н., доцент

Кузнецов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.