

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила
Канта»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика магнитных явлений»**

для программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре

Калининград
2024

Лист согласования

Составитель: Беляев В.К., к.ф.-м.н., заведующий лабораторией магнитооптических исследований НОЦ «Умные материалы и биомедицинские приложения» БФУ им. И. Канта

Рабочая программа утверждена на заседании
Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол № 14 от «31» 01.2024 г.

Председатель Ученого совета
ОНК «Институт высоких технологий» Профессор, д.ф.-м.н.

Юров А.В.

Содержание:

1. Общая характеристика дисциплины	4
2. Объём дисциплины	4
3. Содержание дисциплины	5
4. Учебно-тематический план дисциплины	6
5. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся	6
6. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся	6
7. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	11
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	14

1. Общая характеристика дисциплины

Учебная дисциплина «Физика магнитных явлений» относится к числу дисциплин, направленных на подготовку и сдачу кандидатского экзамена по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре научной специальности 1.3.12 «Физика магнитных явлений».

Цель изучения дисциплины: приобретение основных профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения данной области физики. Данная дисциплина предназначена для студентов аспирантуры и направлена на следующие ключевые цели и задачи:

1. Понимание фундаментальных принципов магнетизма:

Основная цель - обеспечить аспирантов глубокими знаниями о физических законах, лежащих в основе магнитных явлений. Аспиранты должны научиться объяснять и предсказывать магнитные свойства материалов и явлений.

2. Анализ и применение в научных исследованиях:

Дисциплина направлена на развитие у студентов навыков критического анализа магнитных процессов и их применения для решения научных и инженерных задач.

3. Исследование ферромагнетизма и других магнитных явлений:

Аспиранты должны углубленно изучить основные типы магнитных материалов и магнитных взаимодействий между ними, а также понять влияние магнитного поля и магнитоактивных материалов на физические свойства материалов, частиц и электромагнитных волн.

4. Применение знаний в практических областях:

Дисциплина также направлена на развитие умений студентов в применении знаний о магнитных явлениях в различных научных и технических областях, включая электронику, магнитную резонансную томографию и другие смежные дисциплины.

В результате успешного изучения этой дисциплины аспирантуры будут обладать глубоким пониманием магнитных явлений и способностью применять это знание в актуальных научных исследованиях и разработках, способствуя дальнейшему развитию области магнитных материалов и явлений.

Язык реализации дисциплины - русский.

2. Объём дисциплины

Вид учебной работы	Всего, час.	Объём по семестрам	
		3	4
Контактная работа обучающегося с преподавателем по видам учебных занятий (КР):	72	36	36
<i>Лекционные занятия (Л)</i>	48	24	24
<i>Семинарские/ Практические занятия (СПЗ)</i>	24	12	12
Самостоятельная работа обучающегося, в том числе подготовка к промежуточной аттестации (СР)	90	36	54
Вид промежуточной аттестации: Зачет (З), Зачет с оценкой (ЗО), Экзамен (Э), Кандидатский экзамен (КЭ)	18		18 КЭ
Общий объём В часах	180	72	108

	В зачетных единицах	5	2	3
--	---------------------	---	---	---

3. Содержание дисциплины

№ пп	Наименование раздела/ темы	Содержание темы
1	Тема 1: Молекулярная теория магнетизма	Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора. Магнитные моменты ядер. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных элементов. Диамагнетизм. Пространственное квантование магнитного момента атома. Парамагнетизм систем слабовзаимодействующих атомов. Функции Бриллюэна. Закон Кюри и Кюри-Вейса. Обменная энергия. Модель ферромагнетизма Френкеля-Гейзенберга. Спиновые волны. Магноны. Температурная зависимость спонтанной намагниченности при низких температурах. Косвенное и прямое обменное взаимодействие в магнитных диэлектриках. Косвенное обменное взаимодействие через электроны проводимости в редкоземельных металлах. Косвенное обменное взаимодействие в магнитных полупроводниках (FeO, CdCr ₂ S ₄).
2	Тема 2: Основы зонной теории магнетизма	Гамильтониан системы электронов и ионов. Адиабатическое приближение. Метод Хартри-Фока. Поверхность Ферми d- и f-металлов. Различные типы обменных интегралов. Электронный газ. Парамагнетизм и диамагнетизм электронного газа. Критерий ферромагнетизма электронного газа. Обменное расщепление. Полярная модель Шубникова-Вонсовского. Модель Хаббарда для невырожденной зоны. Уровни Ландау. Осцилляция магнитной восприимчивости. Циклотронный резонанс. Восстановление поверхности Ферми по экспериментальным данным, полученным при изучении этих эффектов. Примесные уровни и их влияние на энергетический спектр. Распределение зарядовой и спиновой плоскости вокруг примеси. Магнитная восприимчивость разбавленных растворов.
3	Тема 3: Магнитные структуры	Виды магнитных структур: ферромагнетики, коллинеарные ферромагнетики, неколлинеарные антиферромагнетики, гелимагнетики, ферримагнетики и их магнитные характеристики. Метод нейтронографии. Примеры веществ с указанными структурами. Спиновые стекла.

4	Тема 4: Ферромагнетизм и доменная структура кристаллов	Анизотропия магнитной энергии. Константы анизотропии и их измерение. Магнитоупругая энергия и ее зависимость от направления спонтанной намагниченности и деформации. Магнитострикция. Природа магнитной анизотропии. Методы наблюдения доменной структуры. Теория доменной структуры в кристаллах по Ландау и Лифшицу. Доменная структура вблизи полостей для включений. Цилиндрические магнитные домены. Структура граничного слоя между доменами и его энергия. Однодоменные частицы. Критерий однодоменности. Суперпарамагнетизм. Процессы намагничивания: смещение доменных границ, вращение, парапроцесс. Теория кривых намагничивания в монокристаллах в области вращения. Влияние упругих напряжений на намагничивание. Магнитная текстура. Теория магнитного гистерезиса и коэрцитивной силы. Прямоугольная петля гистерезиса. Процессы перемагничивания в тонких пленках
5	Тема 5: антиферромагнетизм и ферримагнетизм	Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Продольная и поперечная восприимчивость и их температурная зависимость. Термодинамическая теория слабого ферромагнетизма по Дзялошинскому. Редкоземельные ферроферриты. Геликоидальный антиферромагнетизм редкоземельных металлов. Теория ферримагнетизма в приближении молекулярного поля температурной зависимости самопроизвольной намагниченности. Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости ферромагнетиков (закон Нееля). Физические свойства ферримагнетиков в области точки компенсации магнитных моментов подрешеток. Ферриты со структурной шпинели и граната. Гексагональные ферриты.
	Тема 6: Основные теории магнитных превращений	Термодинамические потенциалы. Удельные теплоемкости. Магнетоколорический эффект. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Критические индексы. Магнитные фазовые переходы типа спиновой
	Тема 7: Динамика процессов перемагничивания	Ферро- и ферримагнетики в переменных полях. Уравнение Ландау Лифшица для движения магнитного момента. Ферромагнитный, ферримагнитный и антиферромагнитный резонанс.
	Тема 8: Магнитооптические явления	Магнитооптические эффекты при отражении, преломлении и прохождении света через прозрачные среды. Тензор диэлектрической проницаемости. Зависимость его компонентов от частоты. Магнитооптические параметры и зонная структура.

4. Учебно-тематический план дисциплины

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем	Количество часов					Форма контроля
		Всего	КР	Л	СПЗ	СР	
	Семестр 3	72	36	24	12	36	
1	Тема 1: Молекулярная теория магнетизма	18	9	6	3	9	
2	Тема 2: Основы зонной теории магнетизма	18	9	6	3	9	
3	Тема 3: Магнитные структуры	18	9	6	3	9	
4	Тема 4: Ферромагнетизм и доменная структура кристаллов	18	9	6	3	9	
5	Семестр 4	108	36	24	12	54	КЭ
6	Тема 5: антиферромагнетизм и ферромагнетизм	27	9	6	3	13	
7	Тема 6: Основные теории магнитных превращений	27	9	6	3	14	
	Тема 7: Динамика процессов перемагничивания	27	9	6	3	13	
	Тема 8: Магнитооптические явления	27	9	6	3	14	
	Общий объем	180	72	48	24	90	18

5. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа осуществляется в виде изучения литературы, данных по публикациям, подготовке индивидуальных работ, работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины, поиск и обзор литературы и электронных источников, чтение и изучение учебника и учебных пособий.

5. Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика магнитных явлений»:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика магнитных явлений» проводится в формате кандидатского экзамена.

Перечень вопросов к кандидатскому экзамену:

1. Квантовые числа электрона в атоме. Волновая функция электрона.
2. Магнитный момент, намагниченность. Характеристики магнитного поля.
3. Источники магнитных полей. Размагничивающие поля. Факторразмагничивания.
4. Классификация и основные характеристики магнетиков: магнитная восприимчивость,
5. Зависимости основных характеристик магнетиков от температуры.
6. Намагничивание ферромагнетиков. Петля магнитного гистерезиса и его основные характеристики.

7. Закон электромагнитной индукции Фарадея.
8. Распределение Ферми-Дирака для электронов в металле. Химический потенциал.
9. Типы, константы и энергии магнитной анизотропии. Наведенная магнитная анизотропия. Эффект Зеемана.
10. Домены в ферромагнетиках. Виды доменов и доменных границ.
11. Фазовый переход магнетиков. Переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний
12. Критическая температура. Температура Кюри. Температура Нееля.
13. Магнитооптические эффекты: Фарадея, Керра, Коттона-Мутона.
14. Ферромагнитный резонанс.
15. Эффекты Холла.
16. Взаимодействие Дзялошинского-Мория.
17. Обменное взаимодействие. Типы обменного взаимодействия. РККИ взаимодействие
18. Магнитострикция. Магнитоупругая энергия. Константы магнитоупругого взаимодействия. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие.

6. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

В ходе текущего контроля успеваемости (устный или письменный опрос, подготовка и защита реферата, доклад, презентация, тестирование и пр.) при ответах на учебных занятиях, а также промежуточной аттестации в форме зачета обучающиеся оцениваются по двухбалльной шкале:

Оценка «зачтено» - выставляется аспиранту, если он продемонстрировал знания программного материала, подробно ответил на теоретические вопросы, справился с выполнением заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка «не зачтено» - выставляется аспиранту, если он имеет пробелы в знаниях программного материала, не владеет теоретическим материалом и допускает грубые, принципиальные ошибки в выполнении заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка по результатам проведения кандидатского экзамена по дисциплине выставляется на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена и по вопросам дополнительной программы по теме диссертации аспиранта, которая согласовывается с научным руководителем.

Оценка «отлично» выставляется за исчерпывающий ответ, отражающий знание и профессиональное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «хорошо» выставляется за ответ, содержащий не принципиальные погрешности, отражающий знание и свободное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за ответ, отражающий знание принципиальных положений вопросов, при наличии погрешностей, устраняемых аспирантом при ответе на дополнительные вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за ответ, показывающий непонимание существа вопроса, наличия грубых ошибок в ответах на вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература:

Основная литература

1. Г.С. Кринчик. Физика магнитных явлений. М.: Изд. Мос. Универ. 1976.
2. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества/С.Тикадзуми; пер. с япон //М.: Изд-во «Мир». – 1983.
3. С.В. Вонсовский. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
4. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
5. Боровик Е. С., Еременко В. В., Мильнер А. С. Лекции по магнетизму. – 2005.

Дополнительная литература

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. В 2-х томах. Мир, 1979г.
2. Тикадзуми С. Магнитные характеристики и практическое применение. – 1987.

Программное обеспечение:

Программное обеспечение обучения включает в себя:

- система электронного образовательного контента БФУ им. И. Канта - www.lms-kantiana.ru, обеспечивающую разработку и комплексное использование электронных образовательных ресурсов;
- серверное программное обеспечение, необходимое для функционирования сервера и связи с системой электронного обучения через Интернет;
- корпоративная платформа Webinar.ru;
- установленное на рабочих местах студентов ПО: Microsoft Windows 7, Microsoft Office Standart 2010, антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security. Java 8 Update 231 MATLAB R2016a Dev-C++

Электронные образовательные ресурсы:

- НЭБ Национальная электронная библиотека, диссертации и прочие издания
- ЭБС Консультант студента

- ПРОСПЕКТ ЭБС
- ЭБС ZNANIUM.COM
- ЭБС IBOOKS.RU
- Электронно-библиотечная система (ЭБС) Кантитана (<https://elib.kantiana.ru/>)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

БФУ им. И. Канта имеет специальные помещения и лаборатории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, научных исследований, промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.