

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

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель ОНК
«Институт высоких технологий»
А.В. Юров

«_____» _____ 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика магнитных явлений»

для программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Калининград
2023

Лист согласования

Составители:

Беляев Виктор Константинович, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией магнитооптических исследований НОЦ «Умные материалы и биомедицинские приложения» БФУ им. И. Канта;

Программа одобрена Ученым советом ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол №7 от «б» июля 2023 г.

Председатель Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий» _____ А.А. Шпилевой

Содержание

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

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».

Целью дисциплины "Физика магнитных явлений" является 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 студентов глубокими знаниями о физических законах, лежащих в основе магнитных явлений. Студенты 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:

Студенты 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 студенты 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
		1,2
Контактная работа обучающегося с преподавателем по видам учебных занятий (КР):	56	28,28
<i>Лекционные занятия (Л)</i>	20	10,10
<i>Семинарские/ Практические занятия (СПЗ)</i>	36	18,18
Самостоятельная работа обучающегося, в том числе подготовка к промежуточной аттестации (СР)	70	44,26
Вид промежуточной аттестации: Зачет (З), Зачет с оценкой (ЗО), Экзамен (Э), Кандидатский экзамен (КЭ)	КЭ (2 сем.)	
Общий объём	В часах	144
	В зачетных единицах	4
		72,72
		2,2

3. Учебно-тематический план дисциплины

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем	Количество часов					Форма контроля
		Всего	КР	Л	СПЗ	СР	
	Семестр 1	72	28	10	18	44	КЭ
Раздел 1	МОЛЕКУЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА	16	8	4	4	16	
Тема 1.1	Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора. Магнитные моменты ядер. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Диамагнетизм. Пространственное квантование магнитного момента атома. Парамагнетизм систем слабовзаимодействующих атомов. Функции Бриллюэна. Закон Кюри и Кюри-Вейсса.	8	4	2	2	8	
Тема 1.2	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 (EuO, CdCr, Se и др.) через электроны проводимости.	8	4	2	2	8	
Раздел 2	ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА	16	8	2	6	8	
Тема 2.1	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.	8	4	2	2	4	
Тема 2.2	Уровни Ландау. Осцилляция магнитной восприимчивости. Циклотронный резонанс. Восстановление поверхности Ферми по экспериментальным данным, полученным при изучении этих эффектов.	4	2		2	2	
Тема 2.3	Примесные уровни и их влияние на энергетический спектр. Распределение зарядовой и спиновой плоскости вокруг примеси. Магнитная восприимчивость разбавленных растворов.	4	2		2	2	
Раздел 3	МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ	8	4	2	2	8	
Тема 3.1	Виды магнитных структур: ферромагнетики, коллинеарные ферромагнетики, неколлинеарные антиферромагнетики, гелимагнетики, ферримагнетики и их магнитные характеристики. Метод нейтронографии. Примеры веществ с указанными структурами. Спиновые стекла.	8	4	2	2	8	
Раздел 4	ФЕРРОМАГНЕТИЗМ И ДОМЕННАЯ	32	8	2	6	12	

	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.	16	4	2	2	4	
	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.	8	2		2	4	
	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.	8	2		2	4	
	Семестр 2	72	28	10	18	26	
Раздел 5	АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ И ФЕРРИМАГНЕТИЗМ	32	10	4	6	12	
	Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Продольная и поперечная восприимчивость и их температурная зависимость. Термодинамическая теория слабого ферромагнетизма по Дзялошинскому. Редкоземельные ортоферриты. Геликоидальный антиферромагнетизм редкоземельных металлов.	16	4	2	2	4	
	Теория ферримагнетизма в приближении молекулярного поля. Основные типы температурной зависимости самопроизвольной намагниченности. Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости ферромагнетиков (закон Нееля).	8	4	2	2	4	
	Физические свойства ферримагнетиков в области точки компенсации магнитных моментов подрешеток. Ферриты со структурной шпинели и граната. Гексагональные ферриты.	8	2		2	4	
Раздел 6	ОСНОВЫ ТЕОРИИ МАГНИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ	8	4	2	2	2	
	Термодинамические потенциалы. Удельные теплоемкости. Магнетоколорический эффект. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Критические индексы. Магнитные фазовые переходы типа спиновой переориентации, вызванные сильным магнитным полем и изменением температуры.	8	4	2	2	2	
Раздел 7	ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ	16	8	2	6	8	
	Ферро- и ферримагнетики в переменных полях. Уравнение Ландау и Лифшица для движения	8	6	2	4	4	

	магнитного момента. Ферромагнитный, ферримагнитный и антиферромагнитный резонансы.					
	Определение фактора и констант магнитной анизотропии, Ядерный магнитный резонанс. Спиновое эхо. Магнитные эффективные поля на ядрах магнетиков и их природа. Эффект Мессбауэра.	8	2		2	4
Раздел 8	МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	16	6	2	4	4
	Магнитооптические эффекты при отражении, преломлении и прохождении света через прозрачные среды.	8	4	2	2	2
	Тензор диэлектрической проницаемости. Зависимость его компонентов от частоты. Магнитооптические параметры и зонная структура.	8	2		2	2
	Общий объем	144	56	20	36	70

4. 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, магнитная проницаемость.
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.
10. Эффект Зеемана.
11. Домены в ферромагнетиках. Виды доменов и доменных границ.
12. Фазовый переход магнетиков. Переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний.
13. Критическая температура. Температура Кюри. Температура Нееля.
14. Магнитооптические эффекты: Фарадея, Керра, Коттона-Муттона.
15. Ферромагнитный резонанс.
16. Эффекты Холла.
17. Взаимодействие Дзялошинского-Мория.
18. Обменное взаимодействие. Типы обменного взаимодействия. РККИ взаимодействие.
19. Магнитоупругость. Магнитоупругая энергия. Константы магнитоупругого взаимодействия.
20. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие.

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

По итогам кандидатского экзамена на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена, выставляется оценка по шкале порядка: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Отлично	<ul style="list-style-type: none">– грамотно использована научная терминология;– четко сформулирована проблема, выдвигаемые тезисы основательно аргументированы;– указаны основные точки зрения по рассматриваемому вопросу;– выражена и аргументирована собственная точка зрения на рассматриваемые аспекты проблемы
Хорошо	<ul style="list-style-type: none">– научная терминология применяется, допускаются несущественные ошибки или неточность в понятийном аппарате;– проблема сформулирована,– имеются недостатки в аргументации выдвигаемых тезисов, допущены фактические неточности, которые не носят существенного характера;– продемонстрировано знание дискуссионных проблем по излагаемому вопросу- выражена и аргументирована собственная точка зрения на рассматриваемые аспекты проблемы
Удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none">– имеется представление о научной терминологии, но допущены существенные неточности в дефинициях;– названы и определены лишь некоторые характеристики рассматриваемой проблемы, система аргументации высказываемых тезисов отсутствует– допущены незначительные фактические неточности;– научные дискуссии по рассматриваемой проблеме не охарактеризованы– собственная позиция по проблемным моментам вопросов не выражена
Неудовлетворительно	<ul style="list-style-type: none">– отсутствует знание терминологии, научных дискуссий вокруг рассматриваемой проблемы;– в ответе допускаются грубые фактические ошибки,– не представлена собственная точка зрения по характеризующей проблеме

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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:

- система электронного образовательного контента БФУ им. И. Канта – www.lms-3.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;
- установленное на рабочих местах студентов ПО: Microsoft Windows 7, Microsoft Office Standart 2010, антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security.

Электронные образовательные ресурсы:

- НЭБ Национальная электронная библиотека, диссертации и прочие издания
- eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, книги, статьи, тезисы докладов конференций
- Гребенников Электронная библиотека ИД журналы
- ЭБС Консультант студента
- ПРОСПЕКТ ЭБС
- ЭБС ZNANIUM.COM
- РГБ Информационное обслуживание по МБА
- БЕН РАН
- 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.