

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.10 ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
профессор, д.ф.-м.н. Е.В.Еремин

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Понимание природы происхождения магнетизма в твердых телах, овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики магнитных явлений, ознакомление с особенностями магнитных свойств основных классов магнитоупорядоченных веществ и основными методами их исследования.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Формирование у студентов базовых знаний о природе магнетизма в твердых телах и обучение современным подходам к изучению магнитных свойств твердых тел.

В результате изучения дисциплины студент должен обладать способностью использовать полученные базовые теоретические знания для решения профессиональных задач, применять на практике современные подходы и методы описания, анализа и исследования магнитных свойств твердых тел. Важной задачей является получение студентом углубленных знаний и навыков в одном из важнейших разделов физики конденсированного состояния вещества.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен применять знания в области фундаментальной и прикладной физики в научно-исследовательских и прикладных работах	
ПК-1.1 Планирует, организовывает и проводит научные и прикладные исследования, используя знания в области фундаментальной и прикладной физики	Знать фундаментальные понятия, законы и теории физики магнитных явлений Уметь применять знания физики магнитных явлений в научных и прикладных исследованиях Владеть способностью использовать полученные базовые теоретические знания для решения профессиональных задач
ПК-1.2 Анализирует отечественные и зарубежные достижения в области фундаментальной и прикладной физики для осуществления выбора форм и методов научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем научного исследования	Знать основные достижения в области физики магнитных явлений Умеет анализировать ин-формацию в области физики магнитных явлений

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр	
		8	9
Общая трудоемкость дисциплины	6 (72)	2 (72)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	3 (108)	1 (36)	2 (72)
занятия лекционного типа	2 (72)	1 (36)	1 (36)
лабораторные работы	1 (36)	0 (0)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	2 (72)	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)	36	Зачёт	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Магнетизм твердых тел. Диа- и парамагнетизм					
1.	Лек	Собственный механический момент электрона. Спин. Спиновый магнитный момент электрона. Гиромангнитное отношение. g-фактор. Магнетон Бора. Орбитальный момент электрона. Орбитальный магнитный момент. Модель атома. Электронная структура атомов и ионов. Внутриатомные взаимодействия. Спиновый и орбитальный моменты атомов и ионов. Диамагнетизм электронной оболочки атома. Формула Ланжевена для диамагнитного момента электронной оболочки атома. Парамагнитные вещества. Классическая теория Ланжевена парамагнетизма. Формула Ланжевена для парамагнетиков. Квантовая теория парамагнетизма. Формула Бриллюэна.	12	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	12	8	
Раздел 2. Обменное взаимодействие. Приближение молекулярного поля					
1.	Лек	Магнитный порядок. Простейшая термодинамическая теория ферромагнетизма. Обменное взаимодействие. Обменное взаимодействие на примере двух взаимодействующих электронов. Модель Гейзенберга. Приближение молекулярного поля. Обобщение теории парамагнетизма на случай ферромагнетизма. Эффективные поля в теории магнетизма. Закон Кюри-Вейсса. Поведение намагниченности вблизи $T=0$. Поведение намагниченности вблизи температуры ферромагнитного упорядочения.	12	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	12	8	
Раздел 3. Феноменологический метод описания свойств магнетиков.					
1.	Лек	Феноменологический гамильтониан. Энергия магнитной кристаллографической анизотропии. Энергия анизотропии кубического кристалла. Энергия анизотропии одноосного кристалла. Одноосный кристалл в магнитном поле. Кубический кристалл в магнитном поле. Магнитоупругая энергия. Линейная магнитострикция. Объемная магнитострикция. Закон анизотропии Акулова для четных эффектов. Магнитный кристалл в условиях внешних упругих напряжений.	12	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	12	8	
3.	Зачёт	Зачет		8	
Раздел 4. Доменная структура ферромагнетиков.					
1.	Лек	Магнитостатическая энергия. Разбиение ферромагнетиков на домены. Доменные границы. Блоховские и Неелевские доменные границы Блоховского и Неелевского типа. Доменная структура одноосных и кубических ферромагнетиков. Цилиндрические магнитные домены. Однодоменная частица. Суперпарамагнетизм. Процессы намагничивания. Процессы смещения доменных границ. Закон Релея. Процессы вращения вектора намагниченности.	12	9	
2.	Лаб	Исследование намагниченности материалов на установке «Вибрационный магнетометр со сверхпроводящим соленоидом».	9	9	
3.	Ср	Самостоятельная работа	12	9	
Раздел 5. Магнитные фазовые переходы.					

1.	Лек	Термодинамика магнетиков. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Теория Гинзбурга-Ландау фазовых переходов второго рода. Кинетика ферромагнитного превращения. Магнитные переходы первого рода. Модель Родбела-Бина для фазовых переходов парамагнетик-ферромагнетик первого рода. Магнитокало-рический эффект.	12	9	
2.	Лаб	Получение сильных импульсных магнитных полей	9	9	
3.	Ср	Самостоятельная работа	12	9	
Раздел 6. Многоподрешеточные магнетики.					
1.	Лек	Антиферромагнетики, ферромагнетики, геликоидальные магнетики. Понятие магнитной подрешетки. Антиферромагнетики. Двухподрешеточный антиферромагнетик с эквивалентными магнитными ионами в приближении молекулярного поля. Одноосные антиферромагнетики; гамильтониан и основное состояние. Слабый ферромагнетизм. Теория ферромагнетизма Нееля. Сложные магнитные структуры; причины появления геликоидальных структур.	12	9	
2.	Лаб	Изучение магнитной восприимчивости веществ методом измерения полного сопротивления соленоида	9	9	
3.	Лаб	Измерения намагниченности в импульсных магнитных полях	9	9	
4.	Ср	Самостоятельная работа	12	9	
5.	Экзамен	Экзамен	36	9	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела: учебное пособие по физике твердого тела для вузов. - Москва: Физико-математическая литература, 2001. - 335 с..

2. Волков Н. В., Попков С. И. Магнетизм твердых тел; диа- и парамагнетизм; магнитный порядок (физика магнитных явлений) [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-885602.pdf>.

3. Катанин А. А., Ирхин В. Ю., Игошев П. А. Модельные подходы к магнетизму двумерных зонных систем: научное издание. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 175 с..

4. Волков Н. В. Физика магнитных явлений. Ферромагнетизм [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов (бакалавров), обучающихся по направлению 03.03.02 (011200.62) "Физика" и 14.03.02 (140800.62) "Ядерная физика и технологии". - Красноярск: СФУ, 2015. - 125 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-401851264.pdf>.

5. Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений: учебное пособие для физических специальностей высших учебных заведений. - Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 1985. - 336 с..

6. Сирота Д. И. Физика твердого тела: сборник задач с подробными решениями. - Москва: URSS, 2010. - 183 с..

7. Тарасов Л. В. Земной магнетизм: [учебное пособие]. - Долгопрудный: Интеллект, 2012. - 183 с..

8. Кужир П. Г., Юркевич Н. П., Савчук Г. К. Общая физика. Электричество и магнетизм: сборник задач. - Минск: Издательство Гревцова, 2013. - 271 с..

9. Дубровский В. Г., Топовский А. В., Орлова Н. Б., Ковалёв В. М. Физика магнитных явлений в вакууме и конденсированных средах. Тестирование базовых знаний в курсе общей физики [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2019. - 87 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/152318>.

10. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Софронова С. Н., Токарев Н. А., Александров К. С., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А. Физика конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: ИПК СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-683493.zip.

11. Шиманский А. Ф., Подкопаев О. И., Васильева М. Н. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие для практ. занятий [для студентов укр. группы 150000 "Металлургия, машиностроение и материалобработка"]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-035665.pdf>.

12. Попков С. И., Красиков А. А., Семенов С. В., Балаев А. Д., Волков Н. В. Магнитные измерения [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для лабораторных работ [студентов спец. 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-661298.pdf>.

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.

2. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

3. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>
2. Файловый архив для студентов <http://www.studfiles.ru>
3. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
https://elibrary.ru/project_user_tools.asp?

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

учебная аудитория (лаборатория): Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, лабораторное оборудование в соответствии со спецификой дисциплины, АРМ преподавателя, подключением к сети «Интернет» и индивидуальным неограниченным доступом в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.В.10 Физика магнитных явлений

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ПК-1: Способен применять знания в области фундаментальной и прикладной физики в научно-исследовательских и прикладных работах			
8,9	ПК-1.1: Планирует, организывает и проводит научные и прикладные исследования, используя знания в области фундаментальной и прикладной физики	Знать фундаментальные понятия, законы и теории физики магнитных явлений	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену
		Уметь применять знания физики магнитных явлений в научных и прикладных исследованиях	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену
		Владеть способностью использовать полученные базовые теоретические знания для решения профессиональных задач	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену
8,9	ПК-1.2: Анализирует отечественные и зарубежные достижения в области фундаментальной и прикладной физики для осуществления выбора форм и методов научно-	Знать основные достижения в области физики магнитных явлений	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

	исследовательской деятельности в соответствии с профилем научного исследования	Умеет анализировать информацию в области физики магнитных явлений	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену
ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства			
8,9	ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	Владеть навыком выбора форм и методов исследования магнитных свойств твердых тел	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену
8,9	ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	Уметь учитывать магнитные свойства веществ при исследовании материалов	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к зачету; Контрольные вопросы к экзамену

2 Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Перечень лабораторных работ:

1. Исследование намагниченности материалов на установке «Вибрационный магнетометр со сверхпроводящим соленоидом».
2. Получение сильных импульсных магнитных полей.
3. Изучение магнитной восприимчивости веществ методом измерения полного сопротивления соленоида.
4. Измерения намагниченности в импульсных магнитных полях.

Методические указания по выполнению и защите лабораторных работ:

Для выполнения лабораторной работы по соответствующему разделу студент, используя учебно-методические пособия, изучает теорию явления, получает допуск для проведения эксперимента, оформляет реферативную часть (отчет) с таблицами и графиками, блок-схемой экспериментальной ус-

тановки. Затем проводит лабораторный эксперимент, обрабатывает результаты, оформляет выводы, защищает работу.

Отчет по лабораторной работе представляется по следующей форме:

- название и авторы работы; организация, где выполнена работа, краткая аннотация;
- теоретическое введение, цель работы;
- оригинальная часть, состоящая из следующих разделов: материалы и приборы, методика измерений, обработка и обсуждение результатов, оценка достоверности полученного результата, выводы;
- список литературных источников.

Критерии оценки защиты лабораторной работы:

«Зачтено» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент демонстрирует:

- владение теоретическим материалом в привязке в экспериментальной проверке модели явления;
- понимание приближений, в рамках которых используется теоретическая модель;
- умение доказать достоверность полученных результатов путем вычисления статистической и систематической погрешностей и сравнение с литературными данными;
- владения размерностями физических величин и умение применять различные системы единиц;
- умение делать однозначные выводы, связанные с полученным результатом;
- правильность оформления библиографических данных;
- умение осуществлять поиск материалов по теме в сети Internet.

«Не зачтено» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент не демонстрирует вышеперечисленных знаний, умений, навыков.

Перечень контрольных вопросов к зачету:

1. Магнетизм твердых тел. Диа- и парамагнетизм.
2. Собственный механический момент электрона. Спин. Спиновый магнитный момент электрона. Гиромагнитное отношение. g-фактор. Магнетон Бора.
3. Орбитальный момент электрона. Орбитальный магнитный момент.
4. Модель атома. Электронная структура атомов и ионов. Внутриатомные взаимодействия.

5. Спиновый и орбитальный моменты атомов и ионов.
6. Диамагнетизм электронной оболочки атома. Формула Ланжевена для диамагнитного момента электронной оболочки атома.
7. Парамагнитные вещества. Классическая теория Ланжевена парамагнетизма. Формула Ланжевена для парамагнетиков.
8. Квантовая теория парамагнетизма. Формула Бриллюэна.
9. Обменное взаимодействие. Приближение молекулярного поля. Магнитный порядок.
10. Простейшая термодинамическая теория ферромагнетизма. Обменное взаимодействие на примере двух взаимодействующих электронов. Модель Гейзенберга.
11. Обобщение теории парамагнетизма на случай ферромагнетизма. Эффективные поля в теории магнетизма. Закон Кюри-Вейсса. Поведение намагниченности вблизи $T=0$. Поведение намагниченности вблизи температуры ферромагнитного упорядочения.
12. Феноменологический метод описания свойств магнетиков. Феноменологический гамильтониан.
13. Энергия магнитной кристаллографической анизотропии. Энергия анизотропии кубического кристалла. Энергия анизотропии одноосного кристалла.
14. Одноосный кристалл в магнитном поле. Кубический кристалл в магнитном поле. Магнитоупругая энергия.
15. Линейная магнитострикция. Объемная магнитострикция.
16. Закон анизотропии Акулова для четных эффектов.
17. Магнитный кристалл в условиях внешних упругих напряжений.

Методические рекомендации по проведению зачета

Форма проведения зачета - устный индивидуальный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценивания знаний студентов на зачете

Итоги этого вида промежуточного контроля усвоения материала «уровневой оценке» не подлежат. Оценка – зачет/незачет.

Шкала оценивания	
незачет	зачет
Студент обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебного мате-	Студент демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. При из-

риала по дисциплине. Уровень знаний ниже минимальных требований.

ложении материала допущено несколько несущественных погрешностей. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы.

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

1. Доменная структура ферромагнетиков. Магнитостатическая энергия. Разбиение ферромагнетиков на домены.
2. Доменные границы. Блоховские и Неелевские доменные границы Блоховского и Неелевского типа.
3. Доменная структура одноосных и кубических ферромагнетиков. Цилиндрические магнитные домены.
4. Однодоменная частица. Суперпарамагнетизм.
5. Процессы намагничивания. Процессы смещения доменных границ. Закон Релея. Процессы вращения вектора намагниченности
6. Магнитные фазовые переходы. Термодинамика магнетиков.
7. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Теория Гинзбурга-Ландау фазовых переходов второго рода.
8. Кинетика ферромагнитного превращения.
9. Магнитные переходы первого рода. Модель Родбела-Бина для фазовых переходов парамагнетик-ферромагнетик первого рода.
10. Магнитокалорический эффект.
11. Многоподрешеточные магнетики. Антиферромагнетики, ферри-магнетики, геликоидальные магнетики.
12. Понятие магнитной подрешетки. Антиферромагнетики. Двухподрешеточный антиферромагнетик с эквивалентными магнитными ионами в приближении молекулярного поля.
13. Одноосные антиферромагнетики; гамильтониан и основное состояние. Слабый ферромагнетизм.
14. Теория ферримагнетизма Нееля.
15. Сложные магнитные структуры; причины появления геликоидальных структур.

Методические рекомендации по проведению экзамена:

Для допуска к экзамену нужно выполнить все лабораторные работы.

Экзамен является заключительным этапом изучения учебной дисциплины и имеет целью проверить теоретические знания обучающихся. Форма проведения экзамена - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценивания студентов на экзамене:

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, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

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, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



Е.В. Еремин