

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Спин-зависимые явления в металлах

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Спин-зависимые явления в металлах» относится к блоку ФТД «Факультативы», является факультативной дисциплиной, преподается на третьем семестре второго года обучения в магистратуре.

Целями освоения дисциплины являются:

1. формирование у студентов современного представления о транспортных, оптических и термодинамических свойствах магнитных систем различного размера (от наномасштабных неоднородных систем до объемных материалов);
2. ознакомление студентов с модельными представлениями, используемыми при описании спин-зависимых явлений в твёрдых телах;
3. формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	<i>ПК-1.1. Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала</i>  <i>ПК-1.2. Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i>  <i>ПК-1.3. Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i>	(ПК-1) Знать новейшие достижения в области термодинамических, транспортных и оптических свойств магнитных систем (от наномасштабных неоднородных систем до объемных материалов) и современные проблемы физики спин-зависимых явлений в твердых телах;  (ПК-1) Уметь использовать полученные знания в области спин-зависимых явления в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе; ориентироваться в современной научной литературе по спин-зависимым явлениям в твердых телах;  (ПК-1) Владеть современными методами решения теоретических и экспериментальных задач в области спиновых явлений в твердых телах.	Индивидуальные собеседования	Индивидуальные практические задания

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>зачет</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1 Магнито-дипольное взаимодействие, явления связанные с ним	10	2	2		4	6
Тема 2 Обменное взаимодействие локализованных электронов, магнетизм изоляторов и др. явления	15	4	4		8	7
Тема 3. Обменное взаимодействие делокализованных электронов, зонный магнетизм и др. явления	16	4	4		8	8
Тема 4. Обменное взаимодействие локализованных и делокализованных электронов	10	2	2		4	6
Тема 5. Спин-орбитальное взаимодействие, стрикционные и магнитоэлектрические явления	10	2	2		4	6
Тема 6. Спин-орбитальное взаимодействие, транспортные явления, связанные с ним	10	2	2		4	6
в т.ч.текущий контроль		1				
Промежуточная аттестация – зачет						

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Зачет	
Зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.
Не зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.

##### 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

– индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:** практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

##### 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1 Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта:

Задача 1

Получить зависимость амплитуды колебаний магнитного момента в магнитном поле, имеющем постоянную компоненту и переменную, в зависимости от частоты переменной компоненты?

Задача 2

Найти коэффициент отражения нейтрона от поверхности однородного ферромагнетика, намагниченного вдоль поверхности.

Задача 3

Получить выражение для обменного взаимодействия двух электронов в приближении слабого перекрытия их волновых функций.

Задача 4

Получить спектр свободного электрона с учетом спин-орбитального взаимодействия?

Задача 5

Найти спектр электронов в магнитной спирали в s-d модели.

Задача 6

Найти коэффициент прохождения электрона через туннельный барьер в магнитном туннельном контакте в рамках s-d модели.

Задача 7

Получить критерий магнетизма в модели Стонера.

Задача 8

Рассчитать отклонение среднего магнитного момента электрона от направления намагниченности в квазиadiaбатическом приближении в магнитной спирали.

Задача 9

Рассчитать ширину доменной стенки в ферромагнетике в рамках феноменологической теории.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

1. Диполь-дипольное и магнито-дипольное взаимодействия. Анизотропия диполь-дипольного взаимодействия.
2. Взаимодействие нейтрона с магнетиками. Магнитная нейтронография.
3. Анизотропия формы магнитных наночастиц и пленок. Эффект апельсиновой корки
4. Уравнение Ландау-Лифшица для магнитного момента во внешнем поле. Резонансные явления.
5. Обменное взаимодействие двух локализованных электронов.
6. Правило Хунда, магнитный момент ионов.
7. Сверх-обмен.
8. Модель Гейзенберга.

9. Соревнование диполь-дипольного и обменного взаимодействия. Возникновение доменов, магнитные вихри.
10. Обменная энергия в феноменологической теории. Обменная симметрия.
11. Обмен делокализованных электронов. Модель Стонера.
12. Обмен между локализованными и делокализованными электронами (s-d модель).
13. Модель РККИ.
14. Взаимодействие магнетиков через прослойку.
15. Эффект туннельного магнито-сопротивления.
16. Квазиadiaбатическое приближение для движения электронов.
17. Топологический эффект Холла, спиновый насос.
18. Спиновая аккумуляция. Спиновая накачка.
19. Спин-орбитальное взаимодействие. Спектр электронов с учетом спин-орбитального взаимодействия
20. Магнитная анизотропия. Соревнование обмена и анизотропии, доменная стенка.
21. Магнитострикция.
22. Магнитоэлектрический эффект.
23. Аномальный эффект Холла.
24. Спиновый эффект Холла. Спин-орбитальная спиновая накачка.
25. Механизмы релаксации спина электрона в металлах.
26. Спиновые волны.

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке, некоторые из которых представлены на сайте физического факультета ННГУ, электронной библиотеке кафедры ИТФИ в электронном виде.

Лекционный класс снабжен компьютером с проектором, что позволяет не только демонстрировать слайды, но и ряд вычислений проводить прямо в процессе чтения лекции

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

старший научный сотрудник отдела магнитных наноструктур, к. ф.-м. н. О.Г. Удалов.

Зав. каф. "Физика наноструктур и наноэлектроника" \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.