

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный универси-
тет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
« ____ » _____ 202_ г. № ____

Рабочая программа дисциплины

Спин-зависимые явления в металлах

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Спин-зависимые явления в металлах» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается на третьем семестре второго года обучения в магистратуре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов современного представления о транспортных, оптических и термодинамических свойствах магнитных систем различного размера (от наномасштабных неоднородных систем до объемных материалов);
- ознакомление студентов с модельными представлениями, используемыми при описании спин-зависимых явлений в твердых телах;
- 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 выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
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>З1 (ПК-1) Знать</i> 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. <i>У1 (ПК-1) Уметь</i> использовать полученные знания в области спин-зависимых явлений в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе; ориентироваться в современной научной литературе по спин-зависимым явлениям в твердых телах. <i>В1 (ПК-1) Владеть</i> современными методами решения теоретических и экспериментальных задач в области спиновых явлений в твердых телах.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 39 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

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				
		из них				
		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						

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в

виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Институте физики микроструктур Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. 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 зачету 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.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Спин-зависимые явления в металлах» является **зачет**.

По итогам зачета выставляется оценка «Зачтено» или «Не зачтено». Оценка «Не зачтено» означает отсутствие аттестации, оценка «Зачтено» выставляется при успешном прохождении аттестации.

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).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

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

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Не зачтено» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Зачтено» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.

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

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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. Магнито-стрикция.
22. Магнито-электрический эффект.
23. Аномальный эффект Холла.
24. Спиновый эффект Холла. Спин-орбитальная спиновая накачка.
25. Механизмы релаксации спина электрона в металлах.
26. Спиновые волны.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

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

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

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Спин-зависимые явления в металлах»

а) основная литература:

- 1) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория).. М., Физматлит 2002.-808 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента»
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100572.html>
- 2) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. М., Физматлит 2002.-808 с.
- 3) С.В. Вонсовский. Магнетизм. М., Наука 1971.-1032 с. -23 экз.
- 4) Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. М., Мир 1972,1985. -306 с. -4 экз.
- 5) Г.С. Кринчик. Физика магнитных явлений. Изд-во МГУ 1985.-336 с. -4 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) И.И. Гуревич, Л.В. Тарасов, Физика нейтронов низких энергий. Наука, Москва 196, 608 стр.
- 2) Дж. Смут. Эффективное поле в теории магнетизма. М., Мир 1968.- 271 с. -3 экз.
- 4) У.Ф. Браун. Микромагнетизм. М., Наука 1979. -159 с. -2 экз.
- 5) А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский. Спиновые волны. М., Наука 1967. -338 с. -5 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Journal of Magnetism and Magnetic Materials
<http://www.journals.elsevier.com/journal-of-magnetism-and-magnetic-materials/>
- 2) Physical Review B, Physical Review Letters, <https://journals.aps.org/>
- 3) Journal of applied physics, Applied Physics Letters, <https://aip.scitation.org/journal/jap/>
- 4) Nature, <https://www.nature.com/>
- 5) Science, <http://www.sciencemag.org/>
- 6) Google Scholar, <http://scholar.google.com/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

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

Автор(ы)

_____ О.Г. Удалов

Рецензент(ы)

Зав. кафедрой

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «____» _____ 202_ года, протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /