

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**

Физика магнитных явлений

(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 набора разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика магнитных явлений» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Является дисциплиной по выбору в третьем семестре второго года обучения в магистратуре, соответственно.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов представления о твердотельном магнетизме как о разделе физического знания базирующегося на релятивистской квантовой теории;
- ознакомление студентов с модельными представлениями, используемыми при описании магнитных явлений в твёрдых 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
<b>ПК-3</b> Способен свободно владеть разделами физики и применять результаты научных исследований в профильных областях для решения научно-практических и научно-технологических задач	(ПК-3) <b>Знать</b> новейшие достижения физики твердотельного магнетизма и современные проблемы физики твердотельного магнетизма.  (ПК-3) <b>Уметь</b> использовать новейшие достижения современной физики твердотельного магнетизма в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе.  (ПК-3) <b>Владеть</b> передовыми современными методами решения практических задач твердотельного магнетизма.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (1 час – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося в течение семестра.

### Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	ра-бота обу-чаю-щие-

форма промежуточной аттестации по дисциплине		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1 Релятивистские и обменные взаимодействия в многоэлектронной системе. Магнитные свойства отдельных атомов и ионов	16	2	2		4	12
Тема 2 Магнитный порядок в кристаллах металлов диэлектриков и полупроводников	16	2	2		4	12
Тема 3. Энергия магнитоупорядоченного кристалла	16	2	2		4	12
Тема 4. Доменная структура магнитоупорядоченного кристалла. Малые феррочастицы	16	2	2		4	12
Тема 5. Магнитная мезоскопика. Магнитное квантовое туннелирование	20	4	4		8	12
Тема 6. Магнитоупорядоченный кристалл в переменных электромагнитных полях. Гиротропия ферромагнетиков	23	4	4		8	15
в т.ч. текущий контроль						
Промежуточная аттестация – Зачет					1	

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.

**Типовые задачи**, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1. Получить выражение для теплоёмкости газа ферромагнетиков.

Задача 2. Как изменяется многодоменная структура под действием постоянного однородного магнитного поля?

Задача 3. Рассчитать распределение намагниченности в цилиндрическом магнитном домене в тонкой плёнке.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,** включающий:

### **6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Физика магнитных явлений» 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. Момент импульса и орбитальное движение отдельной частицы.
2. Оператор момента импульса орбитального движения системы частиц.
3. Спин.
4. Преобразование спиноров при вращении системы координат.
5. Уравнение Дирака для свободного электрона.

6. Уравнение Дирака для электрона в электромагнитном поле.
7. Оператор взаимодействия двух электронов с точностью  $(1/c)^2$ .
8. Атом.  $LS$ -связь и  $jj$ -связь.
9. Понятие об обменной энергии.
10. Магнитный момент электрона и гиромагнитная аномалия спина.
11. Магнитный момент атома.
12. Спиновой обменный оператор Дирака.
13. Взаимодействие Ван Флека – Гайзенберга.
14. Локализованные невзаимодействующие моменты. Парамагнетизм.
15. Ферромагнетизм в модели Кюри – Вейсса. Приближение молекулярного (среднего) поля.
16. Динамика магнитной решётки ферромагнетика в приближении обменного взаимодействия (классическое рассмотрение).
17. Динамика магнитной решётки ферромагнетика в приближении обменного взаимодействия (квантовое рассмотрение).
18. Ферромагноны. Термодинамика газа ферромагнонов.
19. Релятивистские взаимодействия в ферромагнитном кристалле.
20. Магнитокристаллографическая анизотропия.
21. Энергия магнитокристаллографической анизотропии и энергия магнитодипольного взаимодействия.
22. Доменная структура ферромагнетика. Доменная стенка.
23. Энергия магнитодипольного взаимодействия многодоменного ферромагнетика.
24. Малые ферромагнитные частицы.
25. Намагничивание многодоменного ферромагнетика. Гистерезис.
26. Гироэлектрические и гиромагнитные свойства ферромагнетика, магнитооптика ферромагнетиков.
27. Обращение времени и теорема Крамерса.

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

Задача 1.

Как преобразуется спиновая волновая функция частицы с  $S = I$  при вращении системы координат вокруг оси  $OZ$ ?

Задача 2.

Построить трёхэлектронную волновую функцию для электронов, находящихся в  $p$  – состояниях ( $l = 1$ ), описывающую состояние с  $L = 2, M_L = 2, S = 1/2, S_z = 1/2$ .

Задача 3.

Получить выражение для теплоёмкости газа ферромагнонов.

Задача 4.

Как изменяется многодоменная страйп структура под действием постоянного однородного магнитного поля?

Задача 5.

Рассчитать распределение намагниченности в цилиндрическом магнитном домене в тонкой плёнке.

#### Задача 6.

Описать в квазиклассическом приближении временную эволюцию намагниченности в малой ферромагнитной частице.

#### Задача 7.

Описать эффекты магнитного квантового туннелирования в магнитных наночастицах.

### 5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

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

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

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика магнитных явлений»**

### 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) Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. М., Мир 1972,1985. -306 с. -4 экз.
- 3) А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский. Спиновые волны. М., Наука 1967. -338 с. -5 экз.
- 4) С.В. Вонсовский. Магнетизм. М., Наука 1971.-1032 с. -23 экз.

### б) дополнительная литература:

- 1) Г.С. Кринчик. Физика магнитных явлений. Изд-во МГУ 1985.-336 с. -4 экз.
- 2) Дж. Сمارт. Эффективное поле в теории магнетизма. М., Мир 1968.- 271 с. -3 экз.
- 3) С.В. Вонсовский. Магнетизм микрочастиц М., Наука 1973. -279 с. -3 экз.
- 4) У.Ф. Браун. Микромагнетизм. М., Наука 1979. -159 с. -2 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/>

## **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):

к. ф.-м. н., с.н.с. \_\_\_\_\_ / Токман И.Д. /

Рецензент(ы):

Зав. межфакультетской базовой кафедрой  
«Физика наноструктур и наноэлектроника»,  
д. ф.-м. н., профессор,  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ / Красильник З.Ф. /

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. /