

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**

Физика магнитных явлений

---

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 «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:

1. формирование у студентов представления о твердотельном магнетизме как о разделе физического знания, базирующегося на релятивистской квантовой теории;
2. ознакомление студентов с модельными представлениями, используемыми при описании магнитных 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-3.  Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	<i>ПК-3.1. Знание основных законов физики</i> <i>ПК-3.2. Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности</i> <i>ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности и зарубежного опыта</i>	(ПК-3) Знать новейшие достижения физики твердотельного магнетизма и современные проблемы физики твердотельного магнетизма;  (ПК-3) Уметь использовать новейшие достижения современной физики твердотельного магнетизма в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе;  (ПК-3) Владеть передовыми современными методами решения практических задач твердотельного магнетизма.	Индивидуальные собеседования	Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>

- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	зачет

### 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				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		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	

### 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 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.

## 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:

##### Задача 1.

Как преобразуется спиновая волновая функция частицы с  $S = 1$  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 ферромагнетиков.

Задача 4.

Как изменяется многодоменная 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.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

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.  $L$ Связь и  $j$  –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. Ферромагнетики. Термодинамика газа ферромагнетиков.
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.

#### 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)

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):

доцент межфакультетской базовой кафедры «Физика наноструктур и наноэлектроника», к. ф.-м. н., с.н.с. И.Д. Токман.

Рецензенты(ы):

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

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