

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Магнитная симметрия
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и техники низких температур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.И. Марченко, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и техники низких температур 06.03.2025

## Аннотация

Дисциплина "Магнитная симметрия" посвящена изучению макроскопической теории спин-упорядоченных сред для студентов, специализирующихся в экспериментальной физике низких температур.

Предполагается знание основ квантовой механики в рамках стандартного университетского курса.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучить макроскопическую теорию спин-упорядоченных сред.

#### Задачи дисциплины

- освоение макроскопического подхода к описанию магнитного упорядочения;
- применение полученных знаний в экспериментальной физике низких температур.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы макроскопического подхода к описанию магнитных свойств.

уметь:

- производить вычисления спектров магнитных колебаний простейших магнитоупорядоченных систем.

владеть:

- методами классических лагранжевого и гамильтоновского формализма для описания динамических свойств магнитных структур.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Магнитная симметрия	8	8		15
2	Спиновая динамика	12	12		15
3	Магноны	10	10		15
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Магнитная симметрия

Магнитная симметрия.

Симметрия по отношению к изменению знака времени. Природа спин-спиновых взаимодействий. Микроскопическая плотность магнитного заряда. Построение групп магнитной симметрии.

Ферромагнетики и антиферромагнетики.

Фазовые переходы второго рода парамагнетик-магнетик.

Доменные структуры ферромагнетиков.

Магнитоэлектрический эффект.

Пьезомагнетизм.

Обменная симметрия.

Обменное приближение. Спиновая плотность.

Коллинеарные и неколлинеарные магнетики.

Спиновые нематики. Тензорные магнетики.

Эффекты магнитного поля – зеемановское приближение. Природа исчезновения продольной магнитной восприимчивости в аксиальных структурах при нулевой температуре.

Обменные фазовые переходы второго рода парамагнетик – спинупорядоченное состояние.

Энергия неоднородности вращения спинового пространства.

Релятивистские поправки. Анизотропия. Слабый ферромагнетизм.  
Структура доменных границ в ферро- и антиферромагнетиках.  
Опрокидывание подрешеток. Промежуточное состояние антиферромагнетиков.  
Спиновые стекла.

## 2. Спиновая динамика

Спиновая динамика.  
Уравнение Ландау – Лифшица для ферромагнетиков.  
Динамика антиферромагнетиков, спиновых нематиков, тензорных магнетиков и неколлинеарных ферромагнетиков.  
Взаимодействие с электромагнитным полем. Уравнения Максвелла в диэлектриках (низкочастотное приближение).  
Спектры магнитных резонансов и спиновых волн.  
Магнитоупругая изотропная щель.

Магнитное упорядочение в сверхтекучем He-3.  
Комбинированное спонтанное нарушение калибровочной и обменной симметрии.  
Разложение по градиентам и релятивистские поправки.  
Спиновая динамика А и В фаз сверхтекучего He-3.  
Фазы сверхтекучего He-3 в изотропном и анизотропном аэрогеле.

## 3. Магноны

Магноны.  
Магнонная термодинамика.  
Магнонные поправки к спиновой динамике при низких температурах.  
Второй звук в магнном газе.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005, 2010 .— 616 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
4. А.Ф. Андреев, В.И. Марченко. Симметрия и макроскопическая динамика магнетиков. УФН 130, 39 (1980)

### Дополнительная литература

1. Лекции по низкотемпературному магнетизму. Магнитная симметрия антиферромагнетиков [Текст] / А. С. Боровик-Романов ; [ Ин-т физ. проблем им. П. Л. Капицы РАН] - М.[Б. и.],2010

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Электронные библиотеки

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Электронные библиотеки.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студенты овладевают методами макроскопического подхода к описанию статики и динамики магнитных структур.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра физики и техники низких температур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.И. Марченко, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Магнитная симметрия» обучающийся должен:

### знать:

- основы макроскопического подхода к описанию магнитных свойств.

### уметь:

- производить вычисления спектров магнитных колебаний простейших магнитоупорядоченных систем.

### владеть:

- методами классических лагранжевого и гамильтоновского формализма для описания динамических свойств магнитных структур.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Симметрия по отношению к изменению знака времени. Природа спин-спиновых взаимодействий. Микроскопическая плотность магнитного заряда. Построение групп магнитной симметрии.
2. Ферромагнетики и антиферромагнетики.
3. Фазовые переходы второго рода парамагнетик-магнетик.
4. Доменные структуры ферромагнетиков.
5. Магнитоэлектрический эффект.
6. Пьезомагнетизм.
7. Обменное приближение. Спиновая плотность.
8. Коллинеарные и неколлинеарные магнетики.
9. Спиновые нематики. Тензорные магнетики.
10. Эффекты магнитного поля – зеэмановское приближение. Природа исчезновения продольной магнитной восприимчивости в аксиальных структурах при нулевой температуре.
11. Обменные фазовые переходы второго рода парамагнетик – спинупорядоченное состояние.
12. Энергия неоднородности вращения спинового пространства.
13. Релятивистские поправки. Анизотропия. Слабый ферромагнетизм.
14. Структура доменных границ в ферро- и антиферромагнетиках.
15. Опрокидывание подрешеток. Промежуточное состояние антиферромагнетиков.
16. Спиновые стекла.
17. Уравнение Ландау – Лифшица для ферромагнетиков.
18. Динамика антиферромагнетиков, спиновых нематиков, тензорных магнетиков и неколлинеарных ферромагнетиков.
19. Взаимодействие с электромагнитным полем. Уравнения Максвелла в диэлектриках (низкочастотное приближение).
20. Спектры магнитных резонансов и спиновых волн.
21. Магнитоупругая изотропная щель.
22. Комбинированное спонтанное нарушение калибровочной и обменной симметрии.
23. Разложение по градиентам и релятивистские поправки.
24. Спиновая динамика А и В фаз сверхтекучего  $^3\text{He}$ .
25. Фазы сверхтекучего  $^3\text{He}$  в изотропном и анизотропном аэрогеле.
26. Магنونная термодинамика.
27. Магнонные поправки к спиновой динамике при низких температурах.
28. Второй звук в магнонном газе.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Обменное приближение. Спиновая плотность.
2. Доменные структуры ферромагнетиков.

Билет 2.

1. Фазы сверхтекучего  $^3\text{He}$  в изотропном и анизотропном аэрогеле.
2. Ферромагнетики и антиферромагнетики.

Критерии оценивания



Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.