

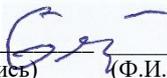


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель программы аспирантуры  
Теоретическая физика

  
(подпись) \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Белоконь В.И.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента теоретической физики и  
интеллектуальных технологий  
наименование департамента/кафедры

  
(подпись) \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Нефедев К.В.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория фазовых переходов**

**1.3.3 Теоретическая физика (физико-математические науки)**

курс 2 семестр 3

лекции 9 час. / (0,25) з.е.

практические занятия 9 час. / (0,25) з.е.

лабораторные работы \_\_\_\_\_ час. / \_\_\_\_\_ з.е.

с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ / пр. \_\_\_\_\_ / лаб. \_\_\_\_\_ час.

всего часов контактной работы \_\_\_\_\_ час.

в том числе с использованием МАО 18 час.,

в том числе на подготовку к экзамену 0 час.

зачет предусмотрен семестр 3

экзамен \_\_\_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденными Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. N 951 и паспортом научной специальности 03.06.01 теоретическая физика..

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий, протокол №7 от «18 » марта 2022 г. Директор департамента/заведующий кафедрой профессор, д.ф.-м.н., Нефедев К.В.

Составитель (ли): профессор, д.ф.-м.н., Белоконь В.И.

Оборотная сторона титульного листа

**I. Рабочая программа актуализирована на заседании департамента/кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента/заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Нефедев К.В.  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа актуализирована на заседании департамента/кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Нефедев К.В.  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Аннотация рабочей программы учебной дисциплины «Теория фазовых переходов»

Рабочая программа дисциплины «Теория фазовых переходов» разработана для аспирантов 2 курса по направлению «Физика и астрономия», профиль «Теоретическая физика». Трудоемкость – 2 з.е.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденными Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. N 951 и паспортом научной специальности 03.06.01. «Теоретическая физика».

**Цель:** освоение навыков использования законов статистической физики и термодинамики для исследования фазовых переходов в системах сильно взаимодействующих частиц

### **Задачи:**

– формирование знаний о современных тенденциях развития теории фазовых переходов;

– формирование знаний об основных физических явлениях и закономерностях, протекающих в системах с обменным взаимодействием различной природы

Для успешного изучения дисциплины «Теория фазовых переходов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

– Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2);

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области теоретической физики (ПК-1)	Знает
Умеет		Быстро найти информацию по определенной тематике и по определенным критериям.
Владеет		Умением анализировать информацию с зарубежных научных статей.
Владение навыками теоретического исследования	Знает	Основные идеи и методы исследования фазовых переходов.
	Умеет	Анализировать возникающие сложности при расчетах критических индексов.

сложных систем (ПК-3)	Владеет	Способностью самостоятельно делать выводы после непосредственного анализа полученных результатов
Владение основными методами постановки и проведения экспериментов в области магнитных свойств современных материалов (ПК-2)	Знает	Основные направления исследований
	Умеет	Анализировать научно-техническую информацию по магнитным фазовым переходам
	Владеет	Способностью самостоятельно делать выводы на основании экспериментальных данных

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Теория фазовых переходов» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: мозговой штурм, дискуссия.

### **Раздел I. Фазовые переходы 1 и 2 рода. Фазовый переход парамагнетик – ферромагнетик. Флуктуации вблизи точки фазового перехода (3 час.)**

**Тема 1.** Общие понятия о магнетизме твердых тел. Физика системы невзаимодействующих спинов. Система взаимодействующих спинов. Молекулярное поле Вейсса. Модель Изинга, приближение среднего поля. Метод Брэгга – Вильямса (1 час)

**Тема 2.** Точное решение Онзагера для плоской решетки. Метод Бете – Пайерлса (квазихимический метод). Метод случайных полей взаимодействия и магнитные фазовые переходы (1 час)

**Тема 3.** Ближний и дальний порядок. Функция корреляции. Функция корреляции магнитных моментов в модели Изинга. Флуктуации вблизи точки фазового перехода и теплоемкость в модели Изинга (1 час)

### **Раздел II. Квантовая модель Гейзенберга. Термодинамика магнонов (2 час.)**

**Тема 1.** Основное состояние в модели Гейзенберга. Магноны. Свойства магнонов и спектр возбуждений (1 час)

**Тема 2.** Возбуждение магнонов в антиферромагнетиках. Свойства антиферромагнитных магнонов (1 час)

### **Раздел III. Конденсация и отверждение. Переходы металл-изолятор (4 час.)**

**Тема 1.** Фазовый переход газ – жидкость. Модель Ван-дер-Ваальса. Решеточный газ. Флуктуации (1 час)

**Тема 2.** Переход жидкость – твердое тело. Кристаллизация (1 час)

**Тема 3.** Модель Келдыша – Копаева. Экситоны. Модель Хаббарда. Переход металл – диэлектрик (2 час.)

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

( 9 час., в том числе      час. с использованием методов активного обучения)

*Структура и содержание практической части курса включает в себя тематику и содержание практических занятий, семинаров, лабораторных работ.*

### Практические занятия (9/   час.)

#### Занятие 1. Статистическая сумма в модели Изинга (1 час)

Найти выражение для статистической суммы  $Q$  модели Изинга без взаимодействия в магнитном поле.

**Решение.** Гамильтониан модели:

$$\bar{H} = -\sum_i \mu_i H \quad \mu_i = \mu_0 S_i, \quad S_i = \pm 1.$$

Так как моменты не взаимодействуют, то:

$$Q = \prod_i \sum_{S_i = \pm 1} \exp(\beta \mu_0 S_i H) = [2 \operatorname{ch}(\beta \mu_0 H)]^N$$

Найти энергию  $E$  модели Изинга без взаимодействия при температуре  $T$ .

**Ответ.**

$$E = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Q = -N \mu_0 H \operatorname{th}[\beta \mu_0 H].$$

#### Занятие 2 Модель Гейзенберга. Статсумма (1 час)

**Задача 2.1.** Дана трехмерная классическая модель Гейзенберга без взаимодействия

$$\bar{H} = -\mu_0 \sum_i \vec{S}_i \vec{H}, \quad |\vec{S}_i| = S$$

Определить статистическую сумму  $Q$ .

**Решение.** Степени свободы системы определяются углом  $\theta_i$  между полем  $H$  и спином  $S_i$ , поэтому:

$$Q = \prod_i \int d\Omega_i \exp(\beta \mu_0 S H \cos \theta_i) = [4\pi (\operatorname{sh}\{\beta \mu_0 HS\} / \beta \mu_0 HS)]^N$$

**Задача 2.2.** Исследовать поведение намагниченности в случаях  $T \rightarrow 0$  и  $T \rightarrow \infty$ .

**Решение.** Функция Ланжевена  $F_L(x)$  имеет асимптоты:

$$F_L(x) \approx 1 - \frac{1}{x} + 2 \exp(-2x), \quad x \rightarrow \infty;$$

$$F_L(x) \approx \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} + \frac{2x^5}{945}, \quad x \rightarrow 0.$$

Отсюда находим:

$$M = N\mu_0 S, \quad T = 0; \quad M = \frac{N\mu_0^2 S^2 H}{3T}, \quad T \rightarrow \infty.$$

### Занятие 3 Гамильтониан Изинга в приближении среднего поля (1 час)

Дан гамильтониан Изинга с взаимодействием в следующем виде:

$$\bar{H} = -1/2\mu_0^2 \sum_{ij} J_{ij} S_i S_j - \mu_0 \sum_i S_i H, \quad S_i = \pm 1, \quad J_{ij} > 0.$$

Необходимо записать его в приближении среднего поля, пренебрегая квадратичными флуктуациями магнитных моментов ( $[\langle S \rangle - S]^2 \rightarrow 0$ ). Ввести взаимодействие ближайших соседей  $Z$ .

**Решение.** Учитывая разложение, сохраняющее требуемую точность среднего поля, в виде:

$$S_k S_{k'} \approx \langle S_k \rangle S_{k'} + S_k \langle S_{k'} \rangle - \langle S_k \rangle \langle S_{k'} \rangle,$$

Получаем

$$\bar{H} = 1/2\mu_0 N H_0 R - \mu_0 \sum_i S_i (H + H_0)$$

где

$$H_0 = \mu_0 \sum_j J_{ij} R = Z \mu_0 J R$$

- среднее поле;  $R = \langle S_i \rangle$  - параметр порядка, средний магнитный момент.

Рассчитать статистическую сумму  $Q$  в приближении среднего поля, исходя из вида гамильтониана, полученного в предыдущей задаче.

**Ответ.**

$$Q = \prod_i \exp(-\beta\mu_0 H_0 R/2) \sum_{S_i=\pm 1} \exp[\beta\mu_0 S_i (H + H_0)] = \\ = \exp(-N\beta\mu_0 H_0 R/2) [2\text{ch}\{\beta\mu_0 (H + H_0)\}]^N$$

### Занятие 4 Свободная энергия в модели Изинга (1 час)

Найти свободную энергию в модели Изинга в приближении среднего поля исходя из полученного в задаче (3.2) выражения для статистической суммы  $Q$ . Доказать, что полученный результат совпадает с результатом подхода Брэгга-Вильямса, где свободная энергия ферромагнетика равняется:

$$\frac{F}{N} = -\frac{R^2 \theta}{2} - RH + T/2 \{ (1+R) \ln[(1+R)/2] + (1-R) \ln[(1-R)/2] \} \quad (1)$$

**Ответ.**

$$F = -T \ln Q = N \beta\mu_0 H_0 R/2 - TN \ln [2\text{ch}\{\beta\mu_0 (H + H_0)\}]. \quad (2)$$

Если учесть уравнение Вейса

$$\frac{\partial F}{\partial R} = 0 = N \left\{ -(R\theta + H) + 1/2 \ln \left( \frac{1+R}{1-R} \right) \right\},$$

то легко доказать эквивалентность выражения (2) и (1).

Из условия минимума свободной энергии получить уравнение Вейса на параметр порядка  $R$ .

### Занятие 5 Расчет магнитной восприимчивости (1 час)

. Рассчитать магнитную восприимчивость для модели Изинга в приближении среднего поля. Рассмотреть предельные случаи  $T \rightarrow 0$ , и  $T \rightarrow \Theta + 0$ ,  $T \rightarrow \Theta - 0$ .

Выразить магнитную восприимчивость через среднеквадратичную флуктуацию магнитного момента.

Ответ.

$$\chi = \left( \frac{1}{N} \right) dM/dH |_{H \rightarrow 0} = \beta/N [\langle M^2 \rangle - \langle M \rangle^2] = \beta/N \langle [M - \langle M \rangle]^2 \rangle.$$

### Занятие 6 Свободная энергия в одномерной модели (1 час)

Найти свободную энергию ферромагнитной одномерной модели Изинга, исходя из выражения статистической суммы:

$$Q = \lambda_1^N (1 + \{\lambda_2/\lambda_1\}^N) = \lambda_1^N |_{N \rightarrow \infty}, \quad \ln Q = N \ln \lambda_1$$

Рассчитать предельный случай  $H \rightarrow 0$ .

Ответ.

$$F = -T \ln \lambda_1 = -TN \ln \left[ \exp(\beta V) \operatorname{ch} \beta H + \sqrt{\exp(2\beta V) \operatorname{sh}^2 \beta H + \exp(-2\beta V)} \right] = \\ = -TN \ln [2 \operatorname{ch} \beta V] |_{H \rightarrow 0}.$$

Найти статистическую сумму и свободную энергию антиферромагнитной одномерной модели Изинга.

**Решение.** Следует просто заменить  $V$  на  $-V$  в решении задачи (6.1.)

### Занятие 7 Уравнение для параметра порядка (1 час)

Найти уравнение для равновесного значения  $R$ , т.е. уравнение на параметр порядка в приближении среднего поля в классической модели Гейзенберга.

Ответ.

$$\frac{\partial F}{\partial R} = 0 \Rightarrow R = \mu_0 S F_L \{ \beta \mu_0 S (H + H_0) \}, \quad F_L(x) = \operatorname{cth}(x) - 1/x,$$

Где  $F_L(x)$  - функция Ланжевена.

Определить критическую температуру перехода в ферромагнитное состояние, исходя из самосогласованного уравнения для параметра порядка.

**Решение.** Пользуясь асимптотами функции Ланжевена, при  $R \rightarrow 0$

$$\text{имеем } \theta = ZJ(\mu_0 S)^2/3.$$

### Занятие 8 Уравнение для спиновых операторов (1 час)

Записать уравнения движения для спиновых операторов в представлении Гейзенберга, взаимодействующих в соответствии с гамильтонианом

$\bar{H} = -1/2 \sum_{i \neq j} J_{ij} \vec{S}_i \vec{S}_j - \bar{H} \sum_i \vec{S}_i$  (здесь  $J_{ij}$  - обменный интеграл;  $S_i$  - оператор спина на  $l$ -м узле:  $\vec{S}_i = \{S_i^X, S_i^Y, S_i^Z\}$ ) в нулевом внешнем поле.

**Решение.** Уравнения движения:

$$\frac{dS_i^\alpha}{dt} = i/\hbar [\bar{H}, S_i^\alpha], \quad \alpha = X, Y, Z.$$

Отсюда

$$dS_i^X/dt = \mu_0^2/\hbar \sum_{i, i \neq j} [J_{ij} S_i^Z S_j^Y - J_{ji} S_i^Y S_j^Z],$$

Остальные уравнения получаются циклической перестановкой.

Записать уравнения движения в приближении среднего поля, полагая  $S^Z = S$  числом, равным модулю спина, а остальные операторы - малыми. Учесть взаимодействие только с ближайшими соседями.

**Решение.** Разложив произведения операторов

$$S_l^\alpha S_i^\beta \approx \langle S_l^\alpha \rangle S_i^\beta + S_i^\alpha \langle S_l^\beta \rangle, \quad S_l^Z \approx \langle S_l^Z \rangle = S,$$

и, полагая  $\langle S_l^X \rangle, \langle S_l^Y \rangle$  малыми, получаем:

$$\frac{dS_l^Z}{dt} = 0, \quad \frac{dS_l^X}{dt} = \mu_0^2 SJ/h \sum_{i \neq l} [S_l^Y - S_i^Y],$$

$$\frac{dS_l^Y}{dt} = \mu_0^2 SJ/h \sum_{i \neq l} [S_l^X - S_i^X].$$

### Занятие 9 Магноны в ГЦК решетке (1 час)

Найти спектр магнонов в ГЦК решетке в приближении ближайших соседей.

**Ответ.**

$$\hbar\omega_q = SJ \left\{ 12 - 4 \left[ \cos \frac{q_Z a}{2} \cos \frac{q_X a}{2} + \cos \frac{q_Z a}{2} \cos \frac{q_Y a}{2} + \cos \frac{q_X a}{2} \cos \frac{q_Y a}{2} \right] \right\}$$

где  $a$  – период решетки. При  $q \rightarrow 0$ ,  $\hbar\omega_q = JSa^2 q^2$  т.е. результат совпадает со случаем простой кубической решетки.

Найти критическую температуру ферромагнетика из условия бозе-конденсации магнонов и сравнить с критической температурой в приближении среднего поля.

**Решение.** Для идеального бозе-газа температура конденсации

$$T_0 = 3,31 \frac{\hbar^2}{m^*} \left( \frac{N}{V} \right)^{2/3}. \quad \text{Для магнонов } S_Z = S - 1/N \sum_q [\exp(\hbar\omega_q/T) - 1]^{-1}. \quad \text{Точка}$$

перехода будет соответствовать нулевой проекции спина на ось  $z$ , откуда условие:

$$S = 1/N \sum_q [\exp(\hbar\omega_q/T) - 1]^{-1}, \quad \text{совпадающее с условием на температуру бозе-конденсации с переобозначением } (N/V)^{2/3} = S^{2/3} a^{-2}, \quad a - \text{период решетки. Учтем, что}$$

в длинноволновом пределе  $\hbar\omega_q = JSa^2 q^2 \Rightarrow \frac{\hbar^2}{2m^*} = JSa^2$ . Окончательно

$T_C = 6,62 JS^{5/2}$ . При  $S \sim 1$  результат не сильно отличается от полученного в приближении среднего поля  $\theta = ZJS^2/3$  ( $Z \sim 10$ ).

## II. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория фазовых переходов» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

– критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Магнитные фазовые переходы. Общие свойства	ПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет, владеет		
2	Модели Брэгга _ Вильямса и Бете-Пайерлса	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет, владеет		
3	Модель Гейзенберга. Магноны.	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет, владеет		
4	Метод случайных полей взаимодействия	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет, владеет		

			умеет, владеет	Собеседование (УО-1)	
5	Спектрохимический анализ вещества методом лазерной искровой спектроскопии	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет, владеет		

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2.

### IV. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Прудников, В.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.В. Прудников, А.Н. Вакилов, П.В. Прудников. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 223 с

ЭБС «Лань»

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2288](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2288)

2. Вшивков, С.А. Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 368 с.

ЭБС «Лань»

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=30431](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=30431)

3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : учебное пособие для физических специальностей университетов в 10 т. : т. 5 . Статистическая физика : ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. М.: Физматлит, 2010. - 616 с.

НБ «ДВФУ»

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:675043&theme=FEFU>

4. В.Ф.Елесин, В.А.Кашурников. Физика фазовых переходов. М.:МИФИ, 1997. 180с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кузнецова, Ю.В. Диоксид ванадия и твердые растворы на его основе. Фазовые переходы, структура и свойства [Электронный ресурс]: / Ю.В. Кузнецова, О.В. Лях, Е.Н. Меркушев [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2013. — 104 с.

ЭБС «Лань»

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59654](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59654)

Россихин, Н.А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2010. — 40 с.

ЭБС «Лань»

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52201](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52201)

Скрипов, В.П. Фазовые переходы кристалл-жидкость-пар и термодинамическое подобие [Электронный ресурс] : / В.П. Скрипов, М.З. Файзуллин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2003. — 160 с.

ЭБС «Лань»

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59358](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59358)

## VI МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Эффективное изучение курса предполагает регулярное посещение занятий и систематическое повторение материала, излагаемого преподавателем на лекции.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов РПД дисциплины, которое позволяет правильно организовать самостоятельную работу аспиранта.

### **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие аспирантов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала аспирантам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации использовать материалы РПД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

## **V. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Проведение лекций с использованием мультимедийной аппаратуры для демонстрации иллюстративного материала.

№ п/п	Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы с указанием адреса	Перечень основного оборудования
1.	Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	<p>Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty</p> <p>Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.</p> <p>Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеувеличителем с возможностью регуляции цветových спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Теория фазовых переходов»**

*03.06.01. Теоретическая физика (физика и астрономия)*

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1.	В течение семестра	Изучение разделов теоретической части курса	15 час.	Собеседование (УО-1)
2.	В течение семестра	Подготовка к практическим занятиям	30 час.	Тест (ПР-1) Контрольная работа (ПР-2)
3.	В течение семестра	Подготовка к экзамену	9 час.	Зачет

### Методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине

Самостоятельная работа включает в себя три вида работ: изучение разделов теоретической части курса, подготовка к практическим занятиям, подготовка к экзамену.

Изучение разделов теоретической части курса и подготовка к практическим занятиям осуществляется аспирантом в период между посвященной данной теме лекцией и соответствующим практическим занятием. Задание и литературу для изучения разделов теоретической части курса преподаватель сообщает в конце лекции. Подготовка к практическим занятиям осуществляется студентом по лекциям и литературе, использовавшейся при изучении разделов теоретической части курса.

Подготовку к экзамену рекомендуется осуществлять в течение семестра непосредственно после окончания изучения очередной темы по вопросам, представленным в приложении 2.

### Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Контроль выполнения работы по изучению разделов теоретической части курса осуществляется на практических занятиях выборочно в форме собеседования. Оформление ответов на вопросы не требуется.

Контроль выполнения работы по подготовке к практическим занятиям осуществляется на практических занятиях в форме контрольной работы.

Контрольные работы завершают изучение разделов учебной дисциплины. Количество работ – 9. Вопросы контрольных работ представлены в приложении 2.

### Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Критерии оценивания контрольной работы:

ответ на все вопросы без ошибок – «отлично»;  
ответ на все вопросы с одной ошибкой – «хорошо»;  
ответ на все вопросы с двумя ошибками – «удовлетворительно»;  
ответ только на половину вопросов или ответ на все вопросы с количеством ошибок более двух – «неудовлетворительно».

При получении оценки «неудовлетворительно» считается, что аспирант не прошел текущий контроль. В этом случае проводится повторный контроль на консультации.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Теория фазовых переходов»**  
*03.06.01. Теоретическая физика (физика и астрономия)*

## ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области теоретической физики (ПК-1)	Знает
Умеет		Быстро найти информацию по определенной тематике и по определенным критериям.
Владеет		Умением анализировать информацию с зарубежных научных статей.
Владение навыками анализа новых экспериментальных данных, касающихся фазовых переходов (ПК-3)	Знает	Основные приборы и методы, необходимые для проведения физических экспериментов в области магнитных фазовых переходов
	Умеет	Анализировать экспериментальные данные.
	Владеет	Способностью самостоятельно делать выводы после непосредственного анализа экспериментальных данных.
Владение основными методами аналитических и численных расчетов.	Знает	Основные аналитические подходы к исследованию фазовых переходов
	Умеет	Анализировать научно-техническую информацию по теории фазовых переходов
	Владеет	Способностью самостоятельно получать и анализировать новые результаты

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Магнитные фазовые переходы. Общие свойства	ПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Отметка о зачете темы
			умеет, владеет	Собеседование (УО-1)	
2	Модели Брэгга_Вильямса и Бете-Пайерлса	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Отметка о зачете темы
			умеет, владеет	Собеседование (УО-1)	
3	Модель Гейзенберга. Магноны.	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Отметка о зачете темы
			умеет, владеет	Собеседование (УО-1)	
4	Метод случайных полей взаимодействия	ПК-2, ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Отметка о зачете темы
			умеет, владеет	Собеседование (УО-1)	

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2.

## I. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Прудников, В.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.В. Прудников, А.Н. Вакилов, П.В. Прудников. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 223 с  
ЭБС «Лань»  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2288](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2288)
2. Вшивков, С.А. Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 368 с.  
ЭБС «Лань»  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=30431](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=30431)
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : учебное пособие для физических специальностей университетов в 10 т. : т. 5 . Статистическая физика : ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. М.: Физматлит, 2010. - 616 с.  
НБ «ДВФУ»  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:675043&theme=FEFU>

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецова, Ю.В. Диоксид ванадия и твердые растворы на его основе. Фазовые переходы, структура и свойства [Электронный ресурс]: / Ю.В. Кузнецова, О.В. Лях, Е.Н. Меркушев [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2013. — 104 с.  
ЭБС «Лань»  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59654](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59654)
- Россихин, Н.А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2010. — 40 с.  
ЭБС «Лань»  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52201](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52201)
- Скрипов, В.П. Фазовые переходы кристалл-жидкость-пар и термодинамическое подобие [Электронный ресурс] : / В.П. Скрипов, М.З. Файзуллин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2003. — 160 с.  
ЭБС «Лань»  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59358](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59358)

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	критерии	показатели

Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области теоретической физики (ПК-1)	знает (пороговый уровень)	Интернет-ресурс Scopus для нахождения научных статей по определенной тематике.	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны или выводы не обоснованы. Представляемая информация не систематизирована или не последовательна.	Способность самостоятельного поиска научных статей в базе данных Scopus.
	умеет (продвинутый)	Быстро найти информацию по определенной тематике и по определенным критериям.	Проведен анализ проблемы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы.	Способность анализировать найденную информацию в российских и зарубежных научных изданиях и делать из нее выводы.
	владеет (высокий)	Умением анализировать информацию с зарубежных научных статей.	Проблема раскрыта полностью. Проведен анализ проблемы. Выводы обоснованы.	Способность использовать выводы, сделанные из анализа научных статей базы данных Scopus для написания собственных курсовых/дипломных работ.
Владение навыками анализа новых экспериментальных данных, касающихся фазовых переходов (ПК-3)	знает (пороговый уровень)	Основные приборы и методы, необходимые для проведения физических экспериментов в области магнитных фазовых переходов.	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны или выводы не обоснованы. Представляемая информация не систематизирована или не последовательна.	Знание основных приборов и методов для проведения экспериментов в области магнитных фазовых переходов. Ответы на элементарные вопросы по устройству и методах работы данных приборов.
	умеет (продвинутый)	Анализировать экспериментальные данные в области фазовых переходов	Проблема раскрыта. Проведен анализ проблемы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы.	Умение анализировать экспериментальные данные в области магнетизма.
	владеет (высокий)	Способностью самостоятельно делать выводы после непосредственного анализа экспериментальных данных.	Проблема раскрыта полностью. Проведен анализ проблемы. Выводы обоснованы.	Способность самостоятельно делать выводы из экспериментальных данных.
Владение основными методами постановки и проведения экспериментов в области лазерной физики, в том числе нелинейной оптики и лазерной спектроскопии (ПК-2)	знает (пороговый уровень)	Основную теорию фазовых переходов 1 и 2 рода	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны или выводы не обоснованы. Представляемая информация не систематизирована или не последовательна.	Способность воспроизвести теоретическую часть
	умеет (продвинутый)	Анализировать научно-техническую информацию	Проблема раскрыта. Проведен анализ проблемы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы.	Умение анализировать данные по магнитным переходам

## Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в форме зачета в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является

### **Оценочные средства для текущего контроля**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения аспирантов и осуществляется преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, посещаемость всех видов занятий;
- степень усвоения теоретических знаний – контролируется двумя контрольными работами в течении семестра;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы – навыки работы с измерительным лабораторным оборудованием;
- результаты самостоятельной работы – по результату самостоятельной работы студенты обязаны подготовить и защитить реферат, написанный на основе статей, найденных в научной базе Scopus.