

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Современные аспекты высокотемпературной сверхпроводимости
<b>по направлению:</b>	Материаловедение и технологии материалов
<b>профиль подготовки:</b>	Перспективные функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики твердого тела
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.Н. Зверев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры физики твердого тела 04.06.2020

## Аннотация

Данный курс лекций посвящен изложению основных теоретических и экспериментальных результатов исследований в сравнительно новой и активно развивающейся области физики твердого тела – высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Курс лекций, построенный на базе публикаций последних лет, включает обзор ряда современных теоретических моделей и изложение основных характеристик высокотемпературных сверхпроводников: их кристаллической структуры, фазовых диаграмм, транспортных и магнитных свойств. Задача курса - познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области, а также успешно включиться в работу коллектива, проводящего исследования ВТСП.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Данный курс лекций позволит студентам получить представление о сравнительно новой и активно развивающейся области физики твердого тела – высокотемпературной сверхпроводимости. Курс лекций, построенный на базе публикаций последних лет, включает обзор ряда современных теоретических моделей и изложение основных характеристик высокотемпературных сверхпроводников: их кристаллической структуры, фазовых диаграмм, транспортных и магнитных свойств.

#### Задачи дисциплины

познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области, а также успешно включиться в работу коллектива, проводящего исследования ВТСП.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
ОПК-1 Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области материаловедения
	ОПК-1.3 Организует, выполняет экспериментальные исследования на современном уровне и анализировать их результаты
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
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- историю открытия высокотемпературной сверхпроводимости;
- основные системы с высокими  $T_c$ ;
- кристаллическую структуру ВТСП, фазовые диаграммы;
- основные методы исследования резистивных свойств сильно анизотропных слоистых систем;
- различия между когерентным и некогерентным транспортом;
- факторы, влияющие на  $T_c$ ;
- экспериментальные данные по сосуществованию сверхпроводимости и магнетизма;
- современные теоретические модели ВТСП.

уметь:

- ориентироваться в большом объеме литературы по ВТСП;
- оценивать величину  $T_c$  на основании теории БКШ;
- анализировать основные характеристики сверхпроводника в рамках анизотропной модели Гинзбурга – Ландау;
- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования;
- решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- экспериментальными методами исследования анизотропии слоистых кристаллов;
- современными моделями, описывающими поперечный транспорт в слоистых кристаллах;
- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### 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	Введение. История открытия; основные представители ВТСП и их характеристики.	2	1		6
2	Структуры сильно анизотропных слоистых сверхпроводников.	2	1		6
3	Аномалии свойств ВТСП в нормальном состоянии. Когерентный и некогерентный поперечный транспорт.	2	1		6
4	Термодинамические свойства ВТСП. ВТСП в магнитном поле: Н -Т фазовая диаграмма.	2	1		6
5	Анизотропная модель Гинзбурга – Ландау; Магнитные свойства.	2	1		6
6	Фазовые диаграммы ВТСП. Варьирование концентрации носителей в ВТСП.	2	1		6
7	Типичные фазовые диаграммы для купратов, органических сверхпроводников и пниктидов железа.	2	1		6
8	Псевдощелевые особенности; Реконструкция ферми-поверхности, ее связь со сверхпроводящими свойствами.	2	1		6
9	Магнетизм и сверхпроводимость.	2	1		6
10	Факторы, влияющие на $T_c$ .	2	1		6
11	Типы сверхпроводящего спаривания.	2	1		6

12	Прямое наблюдение анизотропии параметра порядка.	2	1		6
13	Обзор современных теорий.	2	1		6
14	Последние открытия ВТСП – систем под давлением с критическими температурами вблизи комнатных.	2	1		6
15	Практическое применение ВТСП-материалов.	2	1		6
Итого часов		30	15		90
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Введение. История открытия; основные представители ВТСП и их характеристики.

Введение. История открытия; основные представители ВТСП и их характеристики. Влияние структуры и состава кристаллов иттрий бариевых купратов и кристаллов ВТСП на основе  $\text{Bi}$  на  $\text{Tc}$ .

##### 2. Структуры сильно анизотропных слоистых сверхпроводников.

Структуры сильно анизотропных слоистых сверхпроводников.  $\text{MgB}_2$ ; пниктиды железа; органические сверхпроводники. Семейство купратных сверхпроводников. Характерная особенность ВТСП-систем – слоистая структура.

##### 3. Аномалии свойств ВТСП в нормальном состоянии. Когерентный и некогерентный поперечный транспорт.

Аномалии свойств ВТСП в нормальном состоянии. Температурные зависимости сопротивления в нормальном состоянии; Анизотропия сопротивления; Когерентный и некогерентный поперечный транспорт. Метод Монтоммери для измерений компонент тензора сопротивления слоистых систем.

##### 4. Термодинамические свойства ВТСП. ВТСП в магнитном поле: Н -Т фазовая диаграмма.

Термодинамические свойства ВТСП. ВТСП в магнитном поле: Н -Т фазовая диаграмма. Области существования вихревой жидкости, вихревой решетки. Роль пиннинга вихрей.

##### 5. Анизотропная модель Гинзбурга – Ландау; Магнитные свойства.

Анизотропная модель Гинзбурга – Ландау; выражения для основных характерных длин анизотропного сверхпроводника, полученные из анизотропной модели Гинзбурга - Ландау. Магнитные свойства.

##### 6. Фазовые диаграммы ВТСП. Варьирование концентрации носителей в ВТСП.

Фазовые диаграммы ВТСП. Варьирование концентрации носителей в ВТСП; Влияние концентрации кислорода на  $\text{Tc}$  иттрий-бариевого купрата, экспериментальные методы варьирования  $\text{Tc}$ .

##### 7. Типичные фазовые диаграммы для купратов, органических сверхпроводников и пниктидов железа.

Типичные фазовые диаграммы для купратов, органических сверхпроводников и пниктидов железа; удивительные аналогии фазовых диаграмм различных ВТСП и органических сверхпроводников.

8. Псевдощелевые особенности; Реконструкция ферми-поверхности, ее связь со сверхпроводящими свойствами.

Псевдощелевые особенности; Реконструкция ферми-поверхности, ее связь со сверхпроводящими свойствами. Осцилляции Шубникова – де Гааза и ARPES – сравнение методов исследования электронной структуры, их преимущества и недостатки.

9. Магнетизм и сверхпроводимость.

Обсуждение возможности сосуществования сверхпроводимости и магнетизма. Экспериментальные результаты.

10. Факторы, влияющие на  $T_c$ .

Факторы, влияющие на  $T_c$ . Анализ основных соотношений теории БКШ для предсказания наиболее вероятных путей реального повышения  $T_c$ .

11. Типы сверхпроводящего спаривания.

Обзор современных теорий. Модель RVB, спиновых мешков, биполярная модель, модели с различной симметрией параметра порядка.

12. Прямое наблюдение анизотропии параметра порядка.

Прямое наблюдение анизотропии параметра порядка. Эксперименты на структурах с разориентированными монокристаллами (трикристаллами) иттрий-бариевого купрата. Обсуждение экспериментальных данных.

13. Обзор современных теорий.

Обзор современных теорий. Модель RVB, спиновых мешков, биполярная модель, модели с различной симметрией параметра порядка.

14. Последние открытия ВТСП – систем под давлением с критическими температурами вблизи комнатных.

Последние открытия ВТСП – систем с критическими температурами вблизи комнатных при высоких давлениях: сероводород, гидрид лантана.

15. Практическое применение ВТСП-материалов.

Практическое применение ВТСП-материалов. Создание токонесущих кабелей, сверхпроводящих соленоидов, мощных трансформаторов, высокочувствительных СКВИДов, работающих при температуре жидкого азота.

## **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. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости [Текст]/под ред. В. Л. Гинзбурга, Д. А. Киржница, -М., Наука, 1977
2. Введение в физику сверхпроводников [Текст]/В. В. Шмидт, -М., МЦНМО, 2000
3. Н.М.Плакида, «Высокотемпературные сверхпроводники», «Международная программа образования», - М.: 1996.

#### Дополнительная литература

1. N. P. Armitage, P. Fournier, R. L. Greene, “Progress and perspectives on electron-doped cuprates”, REVIEWS OF MODERN PHYSICS, VOLUME 82(3), 2421-2487 (2010).
2. Hidekazu Mukuda, Sunao Shimizu, Akira Iyo, and Yoshio Kitaoka, “High-Tc Superconductivity and Antiferromagnetism in Multilayered Copper Oxides – A New Paradigm of Superconducting Mechanism” arXiv:1201.2726v1 [cond-mat.supr-con] 13 Jan 2012.

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

<http://issp3.issp.ac.ru/kafedra/>

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

Презентация в формате PPT или PDF как при чтении лекций, так и для выступлений студентов на семинарах.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Материаловедение и технологии материалов
<b>профиль подготовки:</b>	Перспективные функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики твердого тела
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Н. Зверев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
ОПК-1 Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области материаловедения
	ОПК-1.3 Организует, выполняет экспериментальные исследования на современном уровне и анализировать их результаты
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
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные аспекты высокотемпературной сверхпроводимости» обучающийся должен:

### знать:

- историю открытия высокотемпературной сверхпроводимости;
- основные системы с высокими  $T_c$ ;
- кристаллическую структуру ВТСП, фазовые диаграммы;
- основные методы исследования резистивных свойств сильно анизотропных слоистых систем;
- различия между когерентным и некогерентным транспортом;
- факторы, влияющие на  $T_c$ ;
- экспериментальные данные по сосуществованию сверхпроводимости и магнетизма;
- современные теоретические модели ВТСП.

### уметь:

- ориентироваться в большом объеме литературы по ВТСП;
- оценивать величину  $T_c$  на основании теории БКШ;
- анализировать основные характеристики сверхпроводника в рамках анизотропной модели Гинзбурга – Ландау;
- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования;
- решать задачи по теме дисциплины.

### владеть:

- экспериментальными методами исследования анизотропии слоистых кристаллов;
- современными моделями, описывающими поперечный транспорт в слоистых кристаллах;
- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

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

- примеры заданий контрольной работы:

1. Какова структура основных представителей семейства ВТСП. Оценить энергию взаимодействия в сверхпроводнике с  $T_c=40\text{K}$  и константой связи, равной 0.3.
2. Характерный вид поверхности Ферми основных представителей семейства высокотемпературных сверхпроводников. Вычислить значение верхнего критического поля в сверхпроводнике с  $T_c=90\text{K}$  и значением производной верхнего критического поля по температуре при  $T=T_c$ , равной  $7\text{ Тл/К}$ .



3. Модели, объясняющие немонотонную температурную зависимость сопротивления слоистых кристаллов ВТСП. Оценить  $T_c$  сверхпроводника, в котором константа связи равна 0.5, а характерная энергия взаимодействия – 30 meV.
4. Описать эксперимент по прямому определению симметрии параметра порядка в системе Y-Ba-Cu-O. Вычислить значение верхнего критического поля в сверхпроводнике с  $T_c=60\text{K}$  и значением производной верхнего критического поля по температуре при  $T=T_c$ , равной 5 Тл/К.
5. Какие существуют различные типы спаривания. Оценить  $T_c$  сверхпроводника, в котором константа связи равна 0.2, а характерная энергия взаимодействия – 30 meV.
6. Что такое когерентный и некогерентный поперечный транспорт. Вычислить анизотропию эффективных масс носителей в сверхпроводнике, в котором  $H_{c1}=0.5\text{Тл}$ , а  $H_{c2}=100\text{Тл}$ .

- примеры задач из домашнего задания:

1. Оценить  $T_c$  сверхпроводника, в котором константа связи равна 0.5, а характерная энергия взаимодействия – 30 meV.
2. Оценить константу связи сверхпроводника с  $T_c=60\text{K}$  и с энергией взаимодействия, равной характерной энергии Дебая 350K.
3. Оценить энергию взаимодействия в сверхпроводнике с  $T_c=40\text{K}$  и константой связи, равной 0.3.
4. Вычислить значение верхнего критического поля в сверхпроводнике с  $T_c=90\text{K}$  и значением производной верхнего критического поля по температуре при  $T=T_c$ , равной 7 Тл/К.
5. Вычислить анизотропию эффективных масс носителей в сверхпроводнике, в котором  $H_{c1}=0.5\text{Тл}$ , а  $H_{c2}=100\text{Тл}$ .

- примеры тем докладов студентов на семинаре в виде рефератов по статьям:

1. Реферат статьи Л.Я.Винникова «Direct observation of the lattice of Abrikosov vortices in High- $T_c$  superconductor YBaCuO single crystals».
2. Реферат статьи T. Helm et al “Evolution of the Fermi Surface of the Electron-Doped High-Temperature Superconductor  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  Revealed by Shubnikov–de Haas Oscillations”
3. Реферат статьи R. Kleiner et al “Intrinsic Josephson effects in high-T, superconductors”
4. Реферат статьи N. P. Armitage et al “Doping Dependence of an n-Type Cuprate Superconductor Investigated by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy”

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Привести формулу из теории БКШ, позволяющую оценить температуру сверхпроводящего перехода.
2. Характерные параметры единицы длины, входящие в важнейшие соотношения теории сверхпроводников. Их величины для типичных представителей ВТСП.
3. Связь анизотропии верхних критических полей с анизотропией эффективной массы.
4. Уравнение Гинзбурга-Ландау анизотропного сверхпроводника. Вычисление характерных длин.
5. В каком случае становится важным учет парамагнитного распаривания.
6. Какие известны экспериментальные методы изменения  $T_c$  в ВТСП.
7. При каком соотношении между межслоевым расстоянием и длиной когерентности высокотемпературный сверхпроводник должен демонстрировать внутренний эффект Джозефсона. Какая из длин когерентности анизотропного сверхпроводника при этом важна.

Контрольные вопросы к дифференцированному зачету:

1. В чем состоят ограничения  $T_c$  при фононном механизме спаривания электронов.
2. Идея экситонной модели высокотемпературной сверхпроводимости (модель Литтла).
3. Какова структура основных представителей семейства ВТСП.
4. Что происходит при изменении концентрации кислорода в области  $x=0,64$  в системе Y-Ba-Cu-O.
5. В чем состоит 4-х контактный метод измерения сопротивления по методу Монтомери.

6. Что такое когерентный и некогерентный поперечный транспорт.
7. Модели, объясняющие немонотонную температурную зависимость сопротивления слоистых кристаллов ВТСП.
7. Характерный вид поверхности Ферми основных представителей семейства высокотемпературных сверхпроводников.
8. Модель Лифшица для описания эффекта отрицательного коэффициента теплового расширения слоистых систем.
10. Результаты теории Вертхамера, Гельфанда и Хохенбеога для описания температурной зависимости верхнего критического поля. Диамагнитный и парамагнитный предел. Сравнение теории и эксперимента.
11. Фазовые диаграммы типичных ВТСП-кристаллов.
12. В какой области фазовой диаграммы существует псевдощель в системе Y-Ba-Cu-O. Теоретические модели псевдощелевого состояния.
13. Анизотропия параметра порядка типичных ВТСП-кристаллов.
14. Какие существуют различные типы спаривания.
15. Как влияет тип спаривания на спектр квазичастичных возбуждений. Туннельные эксперименты.
16. Описать эксперимент по прямому определению симметрии параметра порядка в системе Y-Ba-Cu-O.
17. Охарактеризовать основные теоретические модели ВТСП, перечислить их достоинства и недостатки.

Примеры контрольных заданий:

1. Какова структура основных представителей семейства ВТСП. Оценить энергию взаимодействия в сверхпроводнике с  $T_c=40\text{K}$  и константой связи, равной 0.3.
2. Характерный вид поверхности Ферми основных представителей семейства высокотемпературных сверхпроводников. Вычислить значение верхнего критического поля в сверхпроводнике с  $T_c=90\text{K}$  и значением производной верхнего критического поля по температуре при  $T=T_c$ , равной 7 Тл/К.
3. Модели, объясняющие немонотонную температурную зависимость сопротивления слоистых кристаллов ВТСП. Оценить  $T_c$  сверхпроводника, в котором константа связи равна 0.5, а характерная энергия взаимодействия – 30 meV.
4. Описать эксперимент по прямому определению симметрии параметра порядка в системе Y-Ba-Cu-O. Вычислить значение верхнего критического поля в сверхпроводнике с  $T_c=60\text{K}$  и значением производной верхнего критического поля по температуре при  $T=T_c$ , равной 5 Тл/К.
5. Какие существуют различные типы спаривания. Оценить  $T_c$  сверхпроводника, в котором константа связи равна 0.2, а характерная энергия взаимодействия – 30 meV.
6. Что такое когерентный и некогерентный поперечный транспорт. Вычислить анизотропию эффективных масс носителей в сверхпроводнике, в котором  $\hbar\kappa_1=0.5\text{Тл}$ , а  $\hbar\kappa_2=100\text{Тл}$ .

#### 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**

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено три теоретических вопроса. При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.