

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.08.2023 16:07:35  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«30»

мая

2023 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)  
**Физика конденсированного состояния вещества**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Солнышкин А.В.

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** дисциплины является изучение теоретических знаний в области физики конденсированного состояния, а именно освоить ряд вопросов, излагаемых в различных разделах физики твердого тела, (кристаллографии, рентгенографии, физики металлов, оптическая спектроскопии) с общих позиций теории групп.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов общего представления о симметрии кристаллической решетки; о том, что симметрия кристаллической решетки удовлетворяет всем аксиомам теории групп; что колебания решетки движения электрона в кристаллическом поле также основано на рассмотрении теории групп.
- освоение обучающимися методов анализа физических явлений и процессов в области физики конденсированного состояния вещества;
- приобретение навыка подготовки развернутого отчета по теме исследования (и) или по результатам проведенных экспериментов.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния вещества» изучается в модуле Физика конденсированного состояния Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она закладывает основы знаний для освоения дисциплин элективных модулей. Для успешного освоения данной дисциплины обучающимся необходимы знания курсов «Кристаллография», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм».

Учебная дисциплина необходима для изучения курсов «Фазовые переходы», «Физика диэлектриков», «Физика полупроводников» «Физика

пьезоэлектриков», «Физика нелинейных кристаллов», «Физические свойства сегнетоэлектриков».

**3. Объем дисциплины:** 3 зачетные единицы, 108 академических часа, **в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 34 часа, практические занятия 17 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** 10 часов, в том числе курсовая работа 10 часов.

**самостоятельная работа:** 47 часов, в том числе контроль 27 часов.

#### **4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	ПК-2.2. Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.
ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов	ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов;

#### **5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 5 семестре

## 6. Язык преподавания: русский.

### II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоя тельная работа (час.)
		Лекции	Практи ческие	
1. Введение. Симметрия кристаллов. Матричная запись преобразований симметрии.	12	2	2	8
2. Формальное определение группы. Понятие подгруппы. Сопряженные элементы. Гомоморфизм и изоморфизм. Циклическая группа. Таблицы Кэли. Основные свойства. Группы симметрии геометрических фигур.	18	4	4	10
3. Теория матричных представлений. Приводимые и неприводимые представления. Неприводимые представления абелевых групп. Представления диэдральных групп.	14	2	2	10
4. Базис представления. Характеры представлений.	14	2	2	10
5. Трансляционная симметрия кристаллической среды. Пространственная решетка. Групповые свойства операторов трансляции. Неприводимые представления трансляционных групп.	7	2	2	3
6. Зоны Бриллюэна. Сопряженная (обратная) пространственная решетка.	9	2	2	5
7. Точечные кристаллографические группы с операторами собственных поворотов. Точечные кристаллографические группы, содержащие операторы несобственных поворотов. Неприводимые представления точечных групп	10	2	2	6
8. Зоны Бриллюэна для решеток Браве.	9	2	2	5

9. Пространственные группы симметрии. Операторы пространственных групп. Винтовые оси. Плоскости скольжения. Примеры пространственных групп ( $Fm\bar{3}m$ , $Fd\bar{3}m$ ). Пространственные группы в двумерном пространстве.	12	2	2	8
10. Звезда волнового вектора. Группа волнового вектора. Неприводимые представления группы волнового вектора.	11	2	2	7
11. Применение теории групп к исследованию нормальных колебаний кристаллической решетки. Симметрия нормальных колебаний	14	4	4	6
12. Применение теории групп к изучению энергетического спектра электронов в кристалле	14	4	4	6
<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>84</b>

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы практических занятий и методические рекомендации к ним;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;
- сборники заданий для самоконтроля.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Физика конденсированного состояния вещества» участвует в формировании общепрофессиональной компетенции ОПК-1 «способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук», профессиональной компетенции ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин».

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-1:** способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Владеть матричной записью преобразований симметрии и механизмом использования теории групп в физике конденсированного состояния вещества	
Начальный уметь	охарактеризовать симметрию кристалла: Задача 1. Преобразование симметрии равностороннего треугольника. Задача 2. Доказать, что элементы симметрии равностороннего треугольника образуют группу. Группы $D_3$ и $C_{3v}$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	Знать совокупность элементов симметрии кристаллической решетки удовлетворяет всем аксиомам теории групп; понятия гомоморфизма и изоморфизма.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный владеть	владеть терминологией теоретико-группового подхода, используемой в научных статьях по физике конденсированного состояния вещества	
Промежуточный уметь	охарактеризовать симметрию нормальных колебаний и волновых функций, описывающих поведение электрона в периодическом поле кристаллической решетки: Задача 1 Построить зону Бриллюэна, найти звезду волнового вектора и группу волнового вектора для двухмерной элементарной ячейки, заданной основными векторами. Задача 2. Построить зону	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>

	Бриллюэна для простой кубической решетки и определить группы волнового вектора.	
Промежуточный знать	Знать элементы теории представлений; приводимые и неприводимые представления; как можно получать неприводимые представления трансляционных, точечных и пространственных групп; звезду и группу волнового вектора, неприводимые представления группы волнового вектора.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ОПК-1 «Способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук»**

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Симметрия кристаллов.
2. Основные определения теории групп.
3. Приводимые и неприводимые представления.
4. Неприводимые представления абелевых групп.
5. Базис представления.
6. Характеры представлений.
7. Трансляционная симметрия кристаллической среды. Пространственная решетка. Групповые свойства операторов трансляции.
8. Неприводимые представления трансляционных групп.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки:

1. Отыскание смежных классов в группах треугольника. Инвариантная подгруппа (нормальный делитель). Фактор- группа.
2. Применение теории групп к исследованию нормальных колебаний кристаллической решетки. Симметрия нормальных колебаний.
3. Применение теории групп к изучению энергетического спектра электронов в кристалле.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Матричная запись преобразований симметрии. Основные свойства групп.
2. Представления циклических групп.
3. Приводимые и неприводимые представления.
4. Характеры представлений точечных групп.



**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	совокупностью элементов симметрии кристаллической решетки	
Начальный уметь	<p>Продемонстрировать умение решать типичные задачи:</p> <p>Задача 1. Преобразование симметрии равностороннего треугольника.</p> <p>Задача 2. Доказать, что элементы симметрии равностороннего треугольника образуют группу. Группы <math>D_3</math> и <math>C_{3v}</math>.</p> <p>Задача 3. Пользуясь таблицей умножения элементов группы получить все определенные структуры группы: подгруппы, классы.</p> <p>Использование определяющих соотношений вместо таблицы умножения.</p> <p>Задача 4. Найти при помощи определяющих соотношений, чему равны <math>df</math> и <math>bd</math> (упражнение 24 Д.М. Васильев. Физическая кристаллография)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	Продемонстрировать знания о матричной записи преобразований симметрии, основных свойств групп.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный владеть	Элементами теории представлений; приводимые и неприводимые представления; как можно получать неприводимые представления	

	трансляционных, точечных и пространственных групп; звезду и группу волнового вектора, неприводимые представления группы волнового вектора.	
Промежуточный <b>уметь</b>	Продemonстрировать умение решать типичные задачи: Задача 1. Показать, что если группа абелева, то число классов равно числу элементов группы. Задача 2. Найти все одномерные представления и таблицы характеров циклических групп $C_2, C_3, C_4, C_6$ . Задача 3. Составить таблицу неприводимых представлений циклической группы четвертого порядка и проверить её правильность при помощи соотношения ортогональности. Задача 4. Составить таблицу умножения абелевой группы шестого порядка и таблицу её неприводимых представлений.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Промежуточный <b>знать</b>	Продemonстрировать знания по применению теории групп к исследованию нормальных колебаний кристаллической решетки, симметрия нормальных колебаний.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»**

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Сопряженная (обратная) пространственная решетка.
2. Зоны Бриллюэна.

3. Трансляционная симметрия кристаллической среды. Пространственная решетка. Групповые свойства операторов трансляции. Неприводимые представления трансляционных групп.
4. Точечная симметрия кристаллической среды. Кристаллографические точечные группы симметрии.
5. Кубические группы.
6. Неприводимые представления точечных групп.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки:

1. Решетка Бравэ, системы, распределение классов по системам.
2. Пространственные группы симметрии.
3. Операторы пространственных групп. Винтовые оси.
4. Плоскости скольжения.
5. Примеры пространственных групп.
6. Звезда волнового вектора. Группа волнового вектора. Неприводимые представления группы волнового вектора.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Неприводимые представления особых точек зоны Бриллюэна квадратной решетки.
2. Группы тетраэдра и октаэдра. Неприводимые представления этих групп.
3. Смежные классы.
4. Зоны Бриллюэна. Звезда волнового вектора. Группа волнового вектора.
5. Неприводимые представления группы волнового вектора

## **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### ***а) Основная литература:***

1. Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие. - М.: Техносфера, 2012. - 560 с. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>
2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167762>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### ***б) Дополнительная литература:***

1. Четверикова А. Г. Кристаллография: учебное пособие. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2012. - 104 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260745>
2. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2003-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168852>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел : учебное пособие / Г. Г. Владимиров. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1997-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168884>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Электронные библиотечные системы:

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniium.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### **1. Темы практических занятий по ФКСВ**

#### **Занятие 1. Тема: Матричная запись преобразований симметрии.**

##### **Основные свойства групп.**

Задача 1. Преобразование симметрии равностороннего треугольника.

Задача 2. Доказать, что элементы симметрии равностороннего треугольника образуют группу. Группы  $D_3$  и  $C_{3v}$ .

#### **Занятие 2.**

Задача 1. Пользуясь таблицей умножения элементов группы получить все определенные структуры группы: подгруппы, классы.

Использование определяющих соотношений вместо таблицы умножения.

Задача 2. Найти при помощи определяющих соотношений, чему равны  $df$  и  $bd$  (упражнение 24 Д.М. Васильев. Физическая кристаллография)

#### **Занятие 3. Тема: Представления циклических групп. Приводимые и неприводимые представления.**

Задача 1. Показать, что если группа абелева, то число классов равно числу элементов группы.

Задачи 2-5:

Найти все одномерные представления и таблицы характеров циклических групп  $C_2, C_3, C_4, C_6$ .

Задача 6. Составить таблицу неприводимых представлений циклической группы четвертого порядка и проверить её правильность при помощи соотношения ортогональности (упражнение 30 Д.М. Васильев. Физическая кристаллография).

Задача 7. Составить таблицу умножения абелевой группы шестого порядка и таблицу её неприводимых представлений (упражнение 31 Д.М. Васильев Физическая кристаллография).

#### **Занятие 4.**

Задача 1. Найти неприводимые представления групп  $C_{3v}, D_3$  и разложить по ним векторные представления этих групп.

#### **Занятие 5. Тема: Характеры представлений точечных групп..**

**Занятие 6. Группа квадрата  $D_4$  (422). Неприводимые представления особых точек зоны Бриллюэна квадратной решетки.**

**Занятие 7. Тема: Группы тетраэдра и октаэдра. Неприводимое представления этих групп.**

**Занятие 8. Тема: Смежные классы. Отыскание смежных классов в группах треугольника. Инвариантная подгруппа (нормальный делитель). Фактор- группа.**

Задача 1. Образуйте левые и правые смежные классы в группе  $3m$ . Для каких подгрупп левые и правые смежные классы совпадают (упражнение 25 Д.М. Васильев. Физическая кристаллография).

- Задача 2. Упражнение 27, Д.М.Васильев Физическая кристаллография.  
 Задача 3. Упражнение 28, Д.М.Васильев Физическая кристаллография.  
 Задача 4. Доказать, что трансляционная группа  $T$  является инвариантной подгруппой пространственной группы  $\Phi$ .  
 Задача 5. Таблица умножения фактор-группы. Проверить правильность таблицы ( $120$ ) непосредственным вычислением (упражнение 28, Д.М.Васильев Физическая кристаллография).

**Занятие 9. Тема: Зоны Бриллюэна. Звезда волнового вектора. Группа волнового вектора.**

- Задача 1 Построить зону Бриллюэна, найти звезду волнового вектора и группу волнового вектора для двухмерной элементарной ячейки, заданной основными векторами.  
 Задача 2. Построить зону Бриллюэна для простой кубической решетки и определить группы волнового вектора.

**Вопросы для обсуждения:**

1. Неприводимые представления группы волнового вектора
2. Пространственные группы симметрии. Неприводимые
3. представления пространственных групп.
4. Применение теории групп к исследованию нормальных колебаний кристаллической решетки. Симметрия нормальных колебаний.
5. Применение теории групп к изучению энергетического спектра электронов в кристалле.

**2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

Самостоятельная работа студентов предполагает:

- обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и практическими занятиями;
- углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;
- использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

**Самоконтроль и контроль изучения курса физика конденсированного состояния вещества**

1. Составить таблицу неприводимых представлений циклической группы четвертого порядка и проверить ее правильность при помощи соотношения ортогональности.
2. Составить таблицу умножения абелевой группы шестого порядка и таблицу ее неприводимых представлений.
3. С чем совпадает таблица характеров одномерных представлений?
4. Доказать, что трансляционная группа  $T$  является инвариантной подгруппой пространственной группы  $\Phi$ .

**Тематика самостоятельной работы студентов по курсу по физика конденсированного состояния**

ТЕМА 1. Группы симметрии геометрических фигур - 10 часов.

- 1.1. Группа движений вещественного евклидова пространства и ее подгруппы.
- 1.2. Сопряженные элементы в группе вращений трехмерного пространства.
- 1.3. Группа вращений правильного  $n$ -угольника  $C_n$ .
- 1.4. Диэдральные группы  $D_n$ .
- 1.5. Группа вращений тетраэдра  $T$ .
- 1.6. Группа вращений куба.  $O$ .
- 1.7. Группа симметрии тетраэдра  $T_d$ .
- 1.8. Группа симметрии куба  $O_h$ - ч.

ТЕМА 2. Представления диэдральных групп -10 часов.

ТЕМА 3. Точечные кристаллографические группы с операторами собственных поворотов. Точечные кристаллографические группы, содержащие операторы несобственных поворотов-10 часов.

ТЕМА 4. Пространственные группы в двумерном пространстве-10 часов..

ТЕМА 5. Примеры пространственных групп- 8 часов.

#### **Литература к самостоятельной работе.**

1. Головина Л.И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения. М.: Наука 1985. (Тема 1).
2. Васильев Д.М. Физическая кристаллография М.:Металлургия.1981 (Темы 2-4).
3. Бокый Г.Б. Кристаллохимия 1971. (тема 5).
4. Ковалев О.В. Неприводимые и индуцированные представления и копредставления федоровских групп. М.: Наука 1986 (тема 5).

### **3) Требования к рейтинг-контролю**

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

#### **Рейтинг 1**

**1. Задача на матричную запись преобразований симметрии.**

#### **2. Теоретический вопрос:**

1. Симметрия кристаллов.
2. Основные определения теории групп.
3. Приводимые и неприводимые представления.
4. Неприводимые представления абелевых групп.
5. Базис представления.
6. Характеристики представлений.
7. Трансляционная симметрия кристаллической среды. Пространственная решетка. Групповые свойства операторов трансляции.
8. Неприводимые представления трансляционных групп.
9. Сопряженная (обратная) пространственная решетка.
10. Зоны Бриллюэна.

#### **Рейтинг 2.**

На примере указанной в варианте точечной группы выполнить следующие задания.

Задание 1. Записать элементы группы. Задание 2. Определить порядок группы.

Задание 3. Записать классы указанной группы. Определить их число. Указать количество неприводимых представлений группы.

Задание 4. На примере указанной группы пояснить физический смысл формул:

$$1) \sum_{j=1}^k l_j^2 = n; \quad 2) \sum_g \chi_i(g) \chi_j(g^{-1}) = n \delta_{ij}; \quad 3) \quad C_s = \frac{1}{n} \sum_g \chi(g) \chi_s^*(g).$$

Задание 5. Таблица характеров каких представлений (записать спектроскопический символ) указанной группы совпадает с таблицей самих представлений?

Задание 6. Перечислить спектроскопические обозначения характеров неприводимых представлений, не представленных в данной группе.

Задание 7. Дать характеристику элементов симметрии указанной в задании пространственной группы.

### **Рейтинг**

1. Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: 40 баллов, из них 20 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 9-ая неделя.

2. Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: 60 баллов, из них 40 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 18-ая неделя

Критерии: работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

## **IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

<b>Наименование специальных* помещений</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения)	1. Проектор Panasonic PT-VW340ZE 2 экран ScreenMedia 3. Ноутбук (переносной) 4. Комплект учебной мебели на 60 посадочных мест 5. Меловая доска	Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно



<p>курсовых работ),          групповых и          индивидуальных          консультаций,          текущего контроля и          промежуточной          аттестации          Лекционная          аудитория № 227          (170002 Тверская          обл., г. Тверь,          Садовый пер., д. 35)</p>		

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт          2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь          3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D          4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО          5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО          6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»          7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно          Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009          Google Chrome - бесплатно          Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно          Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.          Lazarus 1.4.0 - бесплатно          Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно          Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC00000027 от 16.09.2011          MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012          Microsoft Express Studio 4 - бесплатно          MiKTeX 2.9 - бесплатно          MPICH 64-bit – бесплатно          MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно          Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

		MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
--	--	--

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.

		высшего образования ТвГУ»	
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021