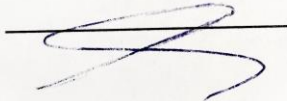


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВПО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(Середин П.В.)  
  
31.08.2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.02 Теория групп в физике твердого тела.

**1. Код и наименование направления подготовки:**

03.03.02 Физика

**2. Профиль подготовки:**

Физика твердого тела

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:** Дубровский О.И., кандидат физ.-мат наук, доцент

**7. Рекомендована:** НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022

**8. Учебный год:** 2024/2025

**Семестр:** 5

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:**

*Целью освоения учебной дисциплины являются:* формирование у студентов знаний и умений, необходимых для применения методов теории групп в физике твердого тела.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение студентами основ теории абстрактных групп;
- формирование знаний основных положений теории представлений;
- ознакомление студентов с основными методами теории групп, используемыми при решении задач физики твердого тела;
- приобретение навыков использования математического аппарата теории групп для решения задач физики твердого тела;

– формирование умений анализировать структуру электронно-энергетического спектра в твердом теле.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов:

40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»

– А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований»;

– А/02.5 «Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок».

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

– С/02.6 «Модернизация существующих и внедрение новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур».

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен анализировать научно-техническую информацию и результаты исследований физической направленности	ПК-1.1	Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч. с использованием информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта)	Знать: методы первичного поиска информации по заданной тематике
				Уметь: проводить первичный поиск информации по заданной тематике
		Владеть: навыками первичного поиска информации по заданной тематике		
ПК-3	Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов, объектов и свойств с использованием современных компьютерных технологий	ПК-3.1	Применяет физические и математические законы для моделирования физических процессов в твердых телах и наноструктурах	Знать: физические и математические законы, применяемые для моделирования физических процессов в твердых телах и наноструктурах
				Уметь: применять физические и математические законы для моделирования физических процессов в твердых телах и наноструктурах
				Владеть: навыками анализа, обобщения и интерпретации результатов экспериментальных и теоретических исследований

				Владеть: навыками применения физических и математических законов для моделирования физических процессов в твердых телах и наноструктурах
ПК-5	Способен модернизировать существующие и внедрять новые процессы модификации наноматериалов и наноструктур	ПК-5.2	Применяет углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур	<p>Знать: способы использования математического аппарата теории групп для получения углубленных знаний о структуре и физико-химических свойствах наноматериалов и наноструктур</p> <p>Уметь: применять углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур</p> <p>Владеть: навыками использования математического аппарата теории групп для получения углубленных знаний о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. – 3/108.**

**Форма промежуточной аттестации: экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			5 семестр
Аудиторные занятия		34	34
в том числе:	лекции	34	34
	практические		
	лабораторные		
	групповые консультации		
Самостоятельная работа		38	38
Форма промежуточной аттестации – экзамен		36	36
Итого:		108	108

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		

1.1	Абстрактные группы	Аксиомы теории групп. Абелевы группы. Циклические группы. Таблица умножения группы. Подгруппа. Смежные классы и их свойства. Теорема Лагранжа. Сопряженные элементы и их свойства. Классы сопряженных элементов и их свойства. Сопряженные подгруппы. Инвариантная подгруппа. Внутреннее произведение. Фактор-группа. Изоморфизм и гомоморфизм групп. Свойства гомоморфных групп. Прямое произведение групп.
1.2	Группы симметрии	Операции симметрии и элементы симметрии. Точечные группы симметрии. Классы и подгруппы точечных групп. Трансляционная симметрия. Решетка Браве. Группа трансляций. Условия Борна-Кармана. Пространственные группы. Кристаллографические классы.
1.3	Представления групп	Линейные векторные пространства. Линейные операторы. Определение представления группы. Матричные представления. Точное представление. Тождественное представление. Эквивалентные представления. Приводимые и неприводимые представления. Соотношения ортогональности. Характеры представлений и их свойства. Ортогональность характеров. Критерий неприводимости представлений. Регулярное представление. Правила построения таблицы характеров неприводимых представлений группы. Характеры неприводимых представлений циклических групп. Представление, индуцируемое базисом. Базисные функции неприводимых представлений. Проекционные операторы. Ортогональность базисных функций. Прямое произведение представлений. Неприводимые представления прямого произведения групп. Неприводимые представления группы трансляций и их базисные функции. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Абстрактные группы	10			10	20
2	Группы симметрии	8			10	18
3	Представления групп	16			18	34
	Итого:	34			38	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Теория групп в физике твердого тела» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции и индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ-демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаим-

ное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда. Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, подбором, изучением, анализом и конспектированием рекомендованной литературы, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Теория групп в физике твердого тела» включает в себя:

- |                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| изучение теоретической части курса | – 38 часов |
| итого                              | – 38 часов |

Подготовка к экзамену – 36 часов

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
-------	----------

1.	Силантьев, А.В. Введение в теорию групп : учебное пособие / А.В. Силантьев. - Дубна: Государственный университет «Дубна», 2019. - 161 с. Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/154514">https://e.lanbook.com/book/154514</a>
2.	Нокс Р. Симметрия в твердом теле / Р. Нокс, А. Голд - М.: Наука, 1970. - 420 с. - Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483386">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483386</a>
3.	Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам / М. Хамермеш - М.: Мир, 1966. - 587 с. - Режим доступа: <a href="http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/%D0%A5%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%88.pdf">http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/%D0%A5%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%88.pdf</a>
4.	Смирнов, В. П. Групповые методы в теории атомов, молекул и кристаллов : учебное пособие / В. П. Смирнов. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. - 106 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/43465">https://e.lanbook.com/book/43465</a>

## б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Скворцова, М. И. Основы теории групп : учебно-методическое пособие / М.И. Скворцова, Л. М. Ожерелкова. - Москва: РТУ МИРЭА, 2020. - 76 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/167572">https://e.lanbook.com/book/167572</a>
6.	Киреев П.С. Введение в теорию групп и ее применение в физике твердого тела / П.С. Киреев - М.: Высш. школа, 1979. -207 с.
7.	Штрайтвольф Г. Теория групп в физике твердого тела / Г. Штрайтвольф - М.: Мир, 1971. - 262 с.
8.	Любарский Г.Я. Теория групп и физика / Г.Я. Любарский - М.: Наука, 1986. - 222 с.
9.	Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов / У. Вустер -М.: Мир, 1977. -383 с.
10.	Кудрявцева Н.В. Теория симметрии / Н.В. Кудрявцева - Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. -231 с.
11.	Аминов Л.К. Теория симметрии (конспекты лекций и задачи) : учебное пособие для студентов третьего курса и магистрантов физического факультета / Л.К. Аминов. - Москва: Институт компьютерных исследований, 2019. - 192 с. Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/92069.html">http://www.iprbookshop.ru/92069.html</a>

## в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
12.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
13.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал «Электронный университет ВГУ»
14.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
15.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
16.	<a href="https://lib.rucont.ru">https://lib.rucont.ru</a> – ЭБС Национальный цифровой ресурс «РУКОНТ»
17.	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a> – ЭБС «Консультант студента»
18.	<a href="https://www.iprbookshop.ru">https://www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
19.	<a href="https://www.znaniium.com">https://www.znaniium.com</a> – ЭБС «Znaniium.com»
20.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

№ п/п	Источник
21.	Дубровский О.И. Теория групп. Ч. 1. Абстрактные группы. Учебно-методическое пособие / О.И. Дубровский, С.И. Курганский. – Воронеж. Издательско-

	полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. – 16 с.
22.	Дубровский О.И. Теория групп. Ч. 2. Основы теории представлений. Учебно-методическое пособие для вузов / О.И. Дубровский, С.И. Курганский. – Воронеж. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2011. – 26 с.

### **17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные работы, групповые консультации, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Для проведения компьютерных лекционных демонстраций, показа рисунков и графиков требуется персональный компьютер, мультимедийный проектор и экран.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

### **19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Абстрактные группы	ПК-1	ПК-1.1	Устный опрос
2.	Группы симметрии	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.3 ПК-3.1 ПК-5.2	Устный опрос
3.	Представления групп	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.3 ПК-3.1 ПК-5.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Комплект КИМ

### **20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

#### **20.1 Текущий контроль успеваемости**



Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: устный опрос, контрольная работа.

**Пример задания для контрольной работы:**

1. Группа задана таблицей умножения

	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
<b>E</b>	E	A	B	C	D	F	G	H
<b>A</b>	A	B	C	E	H	G	D	F
<b>B</b>	B	C	E	A	F	D	H	G
<b>C</b>	C	E	A	B	G	H	F	D
<b>D</b>	D	H	F	G	B	E	A	C
<b>F</b>	F	G	D	H	E	B	C	A
<b>G</b>	G	D	H	F	A	C	E	B
<b>H</b>	H	F	G	D	C	A	B	E

а) Найти порядок и период для элементов В и F.

б) Разбить группу на классы сопряженных элементов.

2. Для циклической группы четвертого порядка

а) построить таблицу умножения;

б) построить таблицу характеров неприводимых представлений.

3. Элементы группы  $C_{4v}$  распределены по 5 классам:

Классы	$C_1$	$C_2$		$C_3$	$C_4$		$C_5$	
Элементы группы	E	$C_4^1$	$C_4^3$	$C_4^2$	$\sigma_{v1}$	$\sigma_{v2}$	$\sigma_{d1}$	$\sigma_{d2}$
Преобразование координат	x y z	y -x z	-y x z	-x -y z	-x y z	x -y z	y x z	-y -x z
Матрицы представления $\Gamma^{(5)}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$

а) Заполнить таблицу характеров неприводимых представлений группы  $C_{4v}$  до конца;

$C_{4v}$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$\Gamma^{(1)}$		1		1	
$\Gamma^{(2)}$		-1	1		-1
$\Gamma^{(3)}$			1	-1	
$\Gamma^{(4)}$				-1	-1
$\Gamma^{(5)}$	2	0			0

б) разложить приводимое представление  $\Gamma$ , характер которого приведен в таблице  $\rightarrow$  на неприводимые.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$\Gamma$	5	-1	1	1	-3

в) Какой из приведенных наборов функций:  $\{x, y\}$ ,  $\{z, x\}$  образует базис представления  $\Gamma^{(5)}$ ?

На основе текущего контроля успеваемости выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения контрольной работы	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении контрольной работы	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять задания контрольной работы	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительные ответы на вопросы. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении контрольной работы	–	<i>Неудовлетворительно</i>

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Комплект КИМ

#### Контрольно-измерительный материал № 1

1. Аксиомы теории групп. Определения и примеры. Сдвиг по группе, порядок и период элемента. Абелевы группы. Циклические группы.
2. Базисные функции неприводимых представлений. Проекционные операторы.

#### Контрольно-измерительный материал № 2

1. Подгруппа. Смежные классы и их свойства. Теорема Лагранжа.
2. Прямое произведение представлений.

#### Контрольно-измерительный материал № 3

1. Классы сопряженных элементов и их свойства. Произведение классов.
2. Приводимость представлений.

#### Контрольно-измерительный материал № 4

1. Сопряженные подгруппы. Инвариантная подгруппа и ее свойства. Фактор-группа.
2. Неприводимые представления группы трансляций и их базисные функции.

#### Контрольно-измерительный материал № 5

1. Изоморфизм и гомоморфизм групп. Свойства гомоморфных групп.
2. Группа трансляций. Циклические граничные условия.

### Контрольно-измерительный материал № 6

1. Прямое произведение групп и его свойства.
2. Матричные представления. Точное представление. Тожественное представление. Эквивалентные представления. Унитарные представления..

### Контрольно-измерительный материал № 7

1. Точечные группы симметрии.
2. Характеристики представлений и их свойства (количество неприводимых представлений, ортогональность характеров, эквивалентность представлений, характер единичного элемента).

### Контрольно-измерительный материал № 8

1. Элементы симметрии. Операции симметрии и матрицы, соответствующие им.
2. Характеристики представлений и их свойства (приведение представлений, критерий неприводимости). Регулярное представление.

### Контрольно-измерительный материал № 9

1. Классы сопряженных элементов и их свойства. Произведение классов.
2. Линейные векторные пространства. Определения и примеры. Размерность пространства. Базис пространства. Скалярное произведение векторов.

### Контрольно-измерительный материал № 10

1. Подгруппа. Смежные классы и их свойства. Теорема Лагранжа.
2. Характеристики неприводимых представлений циклических групп.

### Контрольно-измерительный материал № 11

1. Сопряженные подгруппы. Инвариантная подгруппа и ее свойства. Фактор-группа.
2. Соотношение ортогональности для неприводимых представлений.

### Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Теория групп в физике твердого тела» осуществляется по следующим показателям:

- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Теория групп в физике твердого тела»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не полностью соответствует одному из перечисленных показателей. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сфор-

мированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям.