

*Приложение к приказу первого проректора  
по учебной и научной работе*

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

**Правительство Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Дополнительные главы кристаллографии и кристаллофизики*

*Additional Chapters of Crystallography and Crystal Physics*

**Язык(и) обучения**

Русский

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2016

## Раздел 1. Характеристики учебных занятий

### 1.1. Цели и задачи учебных занятий

Передать аспирантам общее представление о геометрическом строении и симметрии кристаллических твердых тел. Показать особенности симметрии кристаллов и связь ее с симметрией физических свойств. Научить описывать основные структурные типы кристаллов и применять на практике символические обозначения пространственных групп, групп локальной симметрии. Научить проводить фактор-групповой анализ возбуждений в кристаллах. Научить определять и анализировать структурные характеристики кристаллов с использованием современного программного обеспечения. Научить использовать полученные навыки в профессиональной деятельности и при подготовке диссертации.

### 1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Для успешного освоения программы дисциплины «Дополнительные главы кристаллографии и кристаллофизики» аспирантам необходимо прослушать курсы лекций по общей физике, теоретической физике в рамках образования бакалавра и специальный курс «Симметрия, структура и свойства твердых тел – кристаллография и кристаллофизика» в рамках магистратуры.

### 1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

В результате освоения дисциплины студенты должны:

- знать основные понятия симметрии систем материальных точек и кристаллов;
- знать общие положения теории групп;
- уметь определять и анализировать структурные свойства кристаллов;
- иметь навыки построения и анализа пространственных групп.

### 1.4. Перечень активных и интерактивных форм учебных занятий

- Семинары – 12 часов

## Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

### 2.1. Организация учебных занятий

#### 2.1.1 Основной курс

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся															
Период обучения (модуль)	Контактная работа обучающихся с преподавателем											Самостоятельная работа		Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам.раб. с использованием методических материалов		
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>															
<b>очная форма обучения</b>															

1 год обучения (____ часы____ кол.студ.)	40	12										56		4			
	2-10	2-10										1		1		12	4
<b>ИТОГО</b>	<b>40</b>	<b>12</b>										<b>56</b>		<b>4</b>		<b>12</b>	<b>4</b>

Формы текущего контроля успеваемости, виды промежуточной и итоговой аттестации			
Период обучения (модуль)	Формы текущего контроля успеваемости	Виды промежуточной аттестации	Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>			
<b>очная форма обучения</b>			
1 год обучения		зачет	

## 2.2. Структура и содержание учебных занятий

### Основной курс Основная траектория Очная форма обучения

Период обучения (модуль): 1 год обучения

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1	<b>Атомная структура кристаллов и типы химических связей в кристаллах</b> 1. Типы связи в кристаллах. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Молекулярные кристаллы. Металлические кристаллы. 2. Кристаллы с промежуточным типом связи. Гибридизация атомных орбиталей. $sp$ -, $sp^2$ -, $sp^3$ -гибридизация. Структура алмаза и графита. Структуры бинарных соединений $A_2B_5$ , $A_3B_6$ .	лекции	2
2	<b>Геометрическая теория структуры кристаллов</b> 1. Внешняя форма кристаллов. Законы внешней огранки. Закон постоянства углов. Закон целых чисел в кристаллографии. 2. Кристаллохимические радиусы: эффективные радиусы атомов и ионов. Координационное число и координационный многогранник – полиэдр 3. Плотнейшие шаровые упаковки (двухслойная, трехслойная, многослойная). Кубическая и гексагональные упаковки. 4. Структуры сфалерита (ZB) и вюрцита (WZ). 5. Гексагональные политипы с плотнейшей упаковкой WZ(2H), 4H, 8H. Расчет энергии связи политипов $SiO_2$ и GaAs. 6. Структуры флюорита $CaF_2$ , рутила $TiO_2$ , кремнезема $SiO_2$	лекции	4

3	<p><b>Симметрия тел конечных размеров</b></p> <p>1. Введение. Понятие о симметрии. Перестановочно-инверсионная группа.</p> <p>2. Симметрия и физические законы. СРТ-инвариантность (Инверсия заряда, четности и времени). Дипольный момент протона? Элементы симметрии в арабских фресках. Элементы симметрии и антисимметрии в графических произведениях Эшера.</p> <p>3. Симметрия тел конечного размера. Точечная симметрия. Оси и плоскости симметрии инверсия.</p> <p>4. Общие положения теории групп. Группа. Коммутация, умножение, подгруппа, сопряженные элементы, изоморфизм. Классификация групп симметрии.</p>	лекции	6
4	<p><b>Симметрия кристаллов (6 час.)</b></p> <p>1. Кристаллическая решетка. Гомологичные точки, узлы, ряды, ячейки, сетки, решетки. Пространственная решетка и решетка Бравэ. Базис. Кристаллическая структура.</p> <p>2. Трансляционная симметрия. Группа трансляций. Трехмерные кристаллы. Элементы пространственной симметрии кристаллов: трансляции, плоскости скользящего отражения, винтовые оси. Изображение элементов симметрии кристалла на проекциях.</p> <p>3. Кристаллические системы – сингонии. Кристаллический класс. Пространственные (Федоровские) группы. Элементарная и примитивная ячейки.</p> <p>4. Пространственные группы. Символические обозначения. Кристаллические обозначения: символы узлов, символы направлений и символы узловых плоскостей (граней) – индексы Миллера. Кристаллографические проекции. Стереографическая и гномостереографическая проекции. Кристаллографическая и кристаллофизическая (ортогональная) системы координат.</p> <p>4. Пространственные группы симметрии кристаллов. Правильные системы точек. Точки общего и частного положения, их кратность. Число правильных систем точек в структуре. Симморфные и несимморфные пространственные группы. Сайт-группа (симметрия позиции). Связь химической формулы кристалла с набором системы точек. Символика пространственных групп: международная и по Шёнфлису. Обменная группа. Фактор-группа.</p> <p>5. Квазикристаллы. Плитка Пенроуза.</p>	лекции	10

5	<p><b>Симметрия физических свойств кристаллов</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физические свойства - скаляры, векторы, тензоры. Законы преобразования компонент вектора, компонент тензора второго ранга. Симметричные и антисимметричные тензоры.</li> <li>2. Тензора и поверхности второго порядка. Характеристические поверхности второго порядка. Главные оси. Преобразования тензоров 3-го и 4-го рангов. число ненулевых компонент элементов тензора. Пироэлектричество. Диэлектрическая проницаемость. Электрическая поляризация и намагниченность. Восприимчивость. Пьезоэлектричество. Фотоупругость. Энантиоморфизм и оптическая активность.</li> <li>3. Механические напряжения и деформации. Упругость. Закон Гука. Двойное лучепреломление. Электрооптический эффект и фотоупругость. Вращение плоскости поляризации. Влияние симметрии кристалла.</li> <li>4. Анизотропные свойства кристаллов, не выражаемые тензорами.</li> </ol>	лекции	6
6	<p><b>Дифракция волн и анализ структуры</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электронография, рентгенография и нейтронография. Структурные.</li> <li>2. Дифракционные явления на периодической структуре. Амплитуда рассеяния. Структурный фактор. Форм-фактор.</li> <li>3. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Преобразования Фурье кристаллической решетки.</li> <li>4. Атомные плоскости и направления в стереографической и гномостереографической проекциях.</li> <li>5. Структура нанообразований и ансамблей нановискеров в зависимости от способа получения и наноразмеров.</li> <li>6. Нанообразования, состоящие из связанных квантовых нитей и квантовых точек.</li> <li>7. Расчет из первых принципов структуры и электронных состояний кристаллов, и оптимизации атомных позиций в рамках адиабатической теории.</li> </ol>	лекции	6
7	<p><b>Классификация возбуждений в кристаллах</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стационарные состояния в бесконечном кристалле. Теорема Блоха. Классификация возбуждений. Фононы, электроны, экситоны, поляроны.</li> <li>2. Бесконечный кристалл. Циклические граничные условия Борна-Кармана. Волновой вектор. Фактор-групповой анализ колебаний. Корреляции представлений локальной, фактор и обменной группы.</li> <li>3. Конечный кристалл. Проблемы граничных условий. Новые возбуждения. Конечные кластеры, квантовые нити (вискеры), квантовые точки. Реальные возбуждения в наноразмерных кристаллах и кластерах.</li> <li>4. Квазикристаллы. Классификация возбуждений в квазикристаллах.</li> </ol>	лекции	6

8	1. Суммирование по кристаллической решетке. Вычисление кулоновских сумм по решетке. Постоянная Маделунга. 2. Вычисление дипольных сумм по решетке. Давыдовское расщепление. 3. Симметрия кристаллов. Кристаллическая решетка, решетки Браве. Базис. Элементарная и примитивная ячейки. 4. Кристаллические системы (сингонии), кристаллический класс. Пространственные группы. Локальная группа. Число правильных систем точек в структуре. Обменная группа. Фактор-группа. Построение пространственных групп. 5. Классификация возбуждений в бесконечных и в ограниченных кристаллах. 6. Квазикристаллы. Плитка Пенроуза. Дифракция на квазикристаллах.	Семинары по результатам самостоятельной работы с методическим и материалами	12
---	--	---	----

### Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

#### 3.1. Методическое обеспечение

##### 3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Занятия проводятся в виде интерактивных лекций с подготовленными слайдовыми презентациями.

Аспиранты обеспечиваются ксерокопиями рисунков и других фрагментов курса лекций

##### 3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Самостоятельная работа под руководством преподавателя посвящена практической работе – решению кристаллографических задач. Для самостоятельной работы аспиранты должны обеспечиваться:

- программой курса, адаптированной для аспиранта;
- перечнем заданий для самостоятельной работы;
- методическими указаниями для использования программных продуктов при выполнении заданий.

Примеры задач:

#### Структура кристаллов.

1. Зная плотность  $\rho=8,9 \text{ g/cm}^3$  меди, вычислить постоянную  $a$  ее гранецентрированной кубической решетки.  $a=(2m/N_A \rho)^{1/3}=3,6 \text{ \AA}$
5. Вычислить структурный фактор для гранецентрированной кубической (ГЦК) решетки.
6. Вычислить структурный фактор для объемцентрированной кубической (ОЦК) решетки. Вычислить расстояние  $d_{hkl}$  между плоскостями с индексами Миллера  $h, k, l$  в простой, объемцентрированной и гранецентрированной кубической решетке с постоянной  $a=5 \text{ \AA}$ .  $a/(h^2+k^2+l^2)^{1/2}$ ;  $a/2(h^2+k^2+l^2)^{1/2}$ ;  $a/3(h^2+k^2+l^2)^{1/2}$ ;
7. Вычислить относительную интенсивность первых трех рефлексов Лауэ для простой кубической решетки, если электронная плотность объемного кристалла задана функцией  $f(x)=\sin\pi x/a_x \cdot \sin\pi y/a_y \cdot \sin\pi z/a_z$ .
8. Кристаллы каких сингоний являются оптически двуосными, одноосными и изотропными?
9. Сколько атомов содержится в примитивной ячейке алмаза (гранецентрированная кубическая решетка – ГЦК,  $a=3,567 \text{ \AA}$ )? 2. Какова длина вектора примитивной трансляции?  $a\sqrt{2}/2=2,60 \text{ \AA}$ .
10. Ковалентный радиус атома углерода приблизительно равен  $0,77 \text{ \AA}$  (1,27). Каков размер ГЦК решетки алмаза в предположении, что атомы касаются друг друга?  $3,567 \text{ \AA}$ .
11. Доказать, что угол между тетраэдрическими связями в решетке алмаза (ГЦК) равен  $109^\circ 28'$ .
12. Сколько атомов содержится в гранецентрированной кубической элементарной ячейке? Сколько атомов содержится в гранецентрированной кубической примитивной ячейке? 4;1

13. Чему равна относительная доля объема, занимаемого атомами (твердыми шарами) для простой кубической, объемноцентрированной кубической (ГЦК) и гранецентрированной кубической (ГЦК) решеток. 0.52; 0.68; 0.74048.

#### Силы взаимодействия в кристаллах.

1. Оценить температуру плавления кристалла неона Ne, который кристаллизуется в гранецентрированную кубическую решетку с постоянной  $a=3,8 \text{ \AA}$ . Постоянная диполь-дипольного взаимодействия  $C=4,67 \cdot 10^{-60} \text{ эрг} \cdot \text{см}^6$ .
2. Вычислить постоянную Маделунга кристалла NaCl методом Эвьена с учетом взаимодействия ионов только в одной элементарной ячейке.
3. Изобразить элементарную и примитивную ячейку гранецентрированной кубической решетки. Вычислить во сколько раз объем элементарной ячейки больше, чем примитивной.
4. Потенциал ионизации атома Na равен 5,1 эВ, а энергия сродства к электрону у атома Cl равна -3,6 эВ. Вычислить энергию связи кристалла NaCl, если ионный радиус Na равен 0,95 Å, а Cl – 1,91 Å. 7,9эВ.
5. Найти гибридные волновые функции, образованные из нормированных атомных волновых функций  $s$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  типа, образующие четыре тетраэдрические связи.

#### Обратная решетка.

1. В орторомбической решетке имеется три примитивных вектора трансляции  $a=5\text{Å}$ ,  $b=3\text{Å}$ ,  $c=6\text{Å}$ . Определить размеры и форму первой зоны Бриллюэна.
2. Доказать, что в кристалле любой сингонии вектор обратной решетки  $\mathbf{K}_{hkl}$  перпендикулярен плоскости с индексами (hkl) в прямой.
3. Вычислить объем первой зоны Бриллюэна для объемноцентрированной кубической (ОЦК) решетки с постоянной  $a=5\text{Å}$ .
4. Построить четвертую зону Бриллюэна для плоской квадратной решетки.

#### Симметрия кристаллов

1. Провести классификацию колебательных возбуждений конкретного кристалла (KNO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CdS, ZnS, CdSe) по неприводимым представлениям фактор-группы (D<sub>2h</sub>16, D<sub>3d</sub>6, T<sub>d</sub>2).
2. Нарисовать элементы симметрии конкретной пространственной группы () и структуру.
3. Найти локальные поля, в которых находятся атомы конкретных соединений (алмаз, CaF<sub>2</sub>, NaCl).
4. Построение пространственных групп в классе  $C_{2h}$  монокриной сингонии.
5. Пространственные группы триклинной сингонии  $C_i^1$ -  $PI$  и  $C_i^2$ - $P\bar{I}$  и пространственные группы моноклинной сингонии кристаллических классов  $C_2$ -2 и  $C_s$ - $m$ .
6. Возникновение правильных систем точек и групп локальной симметрии в простейших пространственных группах.

### 3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Промежуточная аттестация – экзамен в конце курса.

Экзамен проводится в устной форме.

Экзаменационный билет содержит два вопроса, на каждый из которых студент должен привести развернутый конспект с планом ответа, необходимыми определениями, иллюстрациями, формулами и зависимостями. В устной форме аспирант, пользуясь конспектом, должен связно и исчерпывающе изложить содержание ответа.

В ходе ответа преподавателем могут быть заданы аспиранту уточняющие вопросы по билету. На подготовку конспекта ответа по билету отводится не более 1 часа, на обдумывание ответа на дополнительные вопросы не более 10 минут на каждый. В общей сложности ответ аспиранта не должен превышать 40 минут без учета времени на обдумывание дополнительных вопросов.

Оценка "отлично" выставляется за грамотный, исчерпывающий ответ на два основных и дополнительные вопросы. За время ответа аспирант должен показать свободное владение материалом, изложенным на занятиях и полученным из дополнительных источников, понимание физического смысла и границ применимости законов и зависимостей, проявить способность к самостоятельному анализу физических явлений.

Оценка "хорошо" выставляется за грамотный ответ на два основных и один из дополнительных вопросов. За время ответа аспирант должен показать владение

материалом, изложенным на занятиях, понимание физического смысла и границ применимости законов и зависимостей, проявить способность к самостоятельному анализу физических явлений.

Оценка "удовлетворительно" выставляется за полный ответ на два основных или один основной и два дополнительных вопроса. За время ответа аспирант должен показать владение материалом, изложенным на занятиях, понимание физического смысла и границ применимости законов и зависимостей.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется за ответ, не отвечающий выше перечисленным критериям.

3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

### **Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации студентов.**

Билет 1.

1. Типы связи в кристаллах. Энергия решетки кристаллов.
2. Группа, подгруппа, сопряженные элементы, изоморфизм.

Билет 2.

3. Оси и плоскости симметрии. Комбинированные операции. Инверсия.
4. Квазикристаллы. Плитка Пенроуза.

Билет 3.

5. Представления групп. Группы линейных подстановок.
6. Группа трансляций. Кристаллические системы – сингонии

Билет 4.

7. Приводимые и неприводимые представления групп.
8. Пространственные группы. Индексы Миллера. Обменная группа.

Билет 5.

9. Структурный фактор. Атомный или форм-фактор.
10. Локальная группа (Site-группа позиции точки, координаты позиций точек).

Билет 6.

11. Дифракция рентгеновских лучей на периодической структуре. Формула Лауэ
12. Фактор-группа.

Билет 7.

13. Кристаллический класс. Пространственные группы.
14. Классификация возбуждений в кристаллах конечного размера.

Билет 8.

15. Стационарные состояния в объемных кристаллах. Теорема Блоха.
16. Связь симметрии и физических свойств кристаллов.

Билет 9.

17. Кристаллографическая элементарная ячейка, примитивная ячейка.
18. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Атомные плоскости и направления.

Билет 10.

19. Физические свойства кристаллов. (Скалярные, векторные, тензорные).

## 20. Дифракция Лауэ на периодической структуре. Амплитуда рассеяния.

### 3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

**Анкета-отзыв** на дисциплину «Симметрия, структура и свойства твердых тел – кристаллография и кристаллофизика»

Просим Вас заполнить анкету-отзыв по прочитанной дисциплине. Обобщенные данные анкет будут использованы для ее совершенствования. По каждому вопросу проставьте соответствующие оценки по шкале от 1 до 10 баллов (**обведите** выбранный Вами балл). В случае необходимости впишите свои комментарии.

1. Насколько Вы удовлетворены содержанием дисциплины в целом?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

2. Насколько Вы удовлетворены общим стилем преподавания?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

3. Как Вы оцениваете качество подготовки предложенных методических материалов?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

4. Какой из модулей (разделов) дисциплины Вы считаете наиболее полезным, ценным с точки зрения дальнейшего обучения и/или применения в последующей практической деятельности?

Комментарий \_\_\_\_\_

5. Что бы Вы предложили изменить в методическом и содержательном плане для совершенствования преподавания данной дисциплины?

Комментарий \_\_\_\_\_

СПАСИБО!

### 3.2. Кадровое обеспечение

3.2.1 Образование и (или) квалификация преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень и/или ученое звание, имеющие опыт планирования и организации учебного процесса, а также главные и ведущие специалисты в этой области.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Требования не предъявляются

### 3.3. Материально-техническое обеспечение

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Стандартно оборудованные лекционные аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран настенный, интерактивная доска др. оборудование или компьютерный класс.

### 3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Для проведения занятия необходимы: видеопроектор, ноутбук, переносной экран. В компьютерном классе должны быть установлены средства MS Office 2007: Word, Excel, PowerPoint и др. (допустима версия MS Office 2003).

### 3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Рабочие места преподавателя и студентов должны быть оснащены оборудованием не ниже: Pentium III-800/ОЗУ-256 Мб / Video-32 Мб / Sound card – 16bit /Headphones / HDD 80 Гб / CD-ROM – 48x / Network adapter – 10/100/ Мбс / SVGA – 19”

### 3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Каждый обучающийся во время занятий и самостоятельной подготовки должен быть обеспечен рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет и корпоративную сеть факультета. Компьютерный класс должны быть обеспечен комплектом программного обеспечения Parratt, Fit2D, Sandra

### 3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители и др. в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

## 3.4. Информационное обеспечение

### 3.4.1 Список обязательной литературы

1. Давыдов В., Основы кристаллографии и кристаллофизики Части 1 – 2, Учебное пособие, Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, 112с.
2. Кочемировский, Владимир Алексеевич. Дефекты кристаллической структуры полупроводниковых материалов : учебное пособие / В. А. Кочемировский, И. А. Соколов ; С.-Петербургский гос. ун-т. - СПб. : Изд-во СПбГУ, 2013. - 35 с.
3. Магомедов, Махач Насрутдинович. Изучение межатомного взаимодействия, образования вакансий и самодиффузии в кристаллах / М. Н. Магомедов. - М. : Физматлит, 2010. - 543 с.
4. Нелинейности в периодических структурах и метаматериалах / ред. Ю. С. Кившарь, Н. Н. Розанов. - М. : Физматлит, 2015. - 383 с.
5. J. Patterson, В. Bailey, Solid-State Physics. Introduction to the Theory, Springer, 2007.
6. Собрание научных трудов : в 5 т. / А. П. Александров; [РАН, Федерал. агентство по атомной энергии, Рос. науч. центр "Курчатовский ин-т"]. - М. : Наука, 2006
7. Crystal Structure Analysis. Principles and Practice / A. J. Blake [et al.] ; ed. W. Clegg ; International Union of Crystallography. - Second Edition. - Oxford ; New York : Oxford University Press, 2009. - XVIII, 387 p.
8. Методы структурного анализа : сб. науч. тр. / Академия наук СССР, Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова. - М. : Наука, 1989. - 303 с.
9. Задачник по кристаллофизике : учеб. пособие для студ. вузов / Н. В. Переломова, М. М. Тагиева; под ред. М. П. Шаскольской. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1972. - 192 с.
10. Дифрактометрия с использованием синхротронного излучения / [В. В. Болдырев, Н. З. Ляхов, Б. П. Толочко и др.]; отв. ред. Г. Н. Кулипанов ; АН СССР, Ин-т биофизики, Сибирское отд-ние, Ин-т химии твердого тела и переработки минерального сырья, Ин-т ядерной физики. - Новосибирск : Наука. Сибирское отд-ние, 1989. - 144 с. : ил. - Библиогр.: с. 141-143.

11. Структурная кристаллография : К 100-летию со дня рождения академика Н. В. Белова: Сборник научных трудов / Российская Академия наук, Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова ; отв. ред. Б. К. Вайнштейн. - М. : Наука, 1992. - 293 с.
12. Ч.Киттель, Введение в физику твердого тела. М.:Наука, 1978.
13. С.Багавантам и Т.Венкатарайуду. Теория групп и её применение к физическим проблемам.
14. Д.Пуле, Ж.-П. Матье. Колебательные спектры и симметрия кристаллов. Мир, 1973.
15. Шаскольская М.П. Кристаллография. - М.: Высшая школа, 1976.
16. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. 2-е изд. - М.: Наука, 1971. 400 стр.
17. Китайгородский А.И. "Рентгеноструктурный анализ", Г.Т.И., 1950 г.
18. M.Cardona, P.Yu. Fundamentals of semiconductors. Springer, 1999.

#### 3.4.2 Список дополнительной литературы

1. Карпов С.В., Классификация колебательных возбуждений в молекулах и кристаллах. Учебно-методическое пособие, С.-Петербург, изд.СПбГУ, 2002, 39с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1979- в 2-х томах.
3. В. Bushman, Handbook of Nanotechnology, Springer, Berlin, 2004
4. А.Анималу "Квантовая теория кристаллических твердых тел" М., Мир, 1981.
5. У.Харрисон. Теория твердого тела. М. Мир, 1972.
6. Дж.Блейкмар "Физика твердого тела" М., Мир, 1988.
8. Е.Вильсон, Д.Дешиус, П.Кросс. Теория колебательных спектров молекул.
9. Дж. Най. Физические свойства кристаллов. Мир, 1967
10. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. - М.:Наука,1978.
11. Современная кристаллография. В 4-х томах. Под ред. Б.К.Вайнштейна. Т.1-4.-М.: Наука, 1979-1981.

#### 3.4.3 Перечень иных информационных источников

Не предусмотрено

### Раздел 4. Разработчики программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Григорьева Наталья Анатольевна	к.ф.м.н.	-	доцент	<a href="mailto:natali@lns.pnpi.spb.ru">natali@lns.pnpi.spb.ru</a> +7-921-7469488
Карпов Сергей Владимирович	к.ф.м.н.	доцент		